

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC / THERMAL* (PV/T)  
MENGUNAKAN FLUIDA NANO UNTUK MENINGKATKAN  
EFISIENSI DAN DAYA LISTRIK SEL PV**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Pada Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains Dan Teknologi



oleh :

**MUHAMMAD TOMMY AFRI PUTRA**

**11555104633**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERISULTAN SYARIF KASIMRIAU**

**PEKANBARU**

**2019**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC / THERMAL* (PV/T) MENGUNAKAN FLUIDA NANO UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN DAYA LISTRIK SEL PV

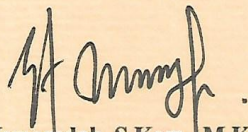
### TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD TOMMYAFRI PUTRA  
11555104633

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 18 Desember 2019

Ketua Program Studi



Ewi Ismaradah, S.Kom., M.Kom  
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.  
NIK. 130517054



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC / THERMAL* (PV/T) MENGUNAKAN FLUIDA NANO UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN DAYA LISTRIK SEL PV

### TUGAS AKHIR

Oleh:

**MUHAMMAD TOMMYAFRI PUTRA**  
**11555104633**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 18 Desember 2019

Pekanbaru, 18 Desember 2019

Mengesahkan,



Dekan

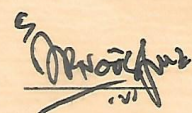
**Dr. Drs. Ahmad Darmawi, M.Ag**  
**NIP. 19660604 199203 1 004**

Ketua Program Studi

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

#### DEWAN PENGUJI :

**Ketua** : Abdullah, S.Si., M.I.T.  
**Sekretaris** : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc  
**Anggota I** : Susi Afriani, ST., MT  
**Anggota II** : Novi Gusnita, S.T., M.T.



## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

LEMBAR PERSEMBAHAN

*"Karena sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan" (Q.S Al Insyirah : 5 - 6).*

*"Untuk Ibu, Ibu, Ibunda Nazirah Tercinta  
dan Ayahanda terhormat Agus Pidar, Karya  
ini ku persembahkan untukmu Ibu*

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat dan salam ucapkan kepada nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman islamiah.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua yang telah memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik, dengan kerja keras dan do'a – do'a yang selalu Ibu, Ayah panjatkan didalam sujudmu demi masa depan anak- anakmu, selalu memberi dukungan dan semangat. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini kami berharap bisa menjadi kebanggaan untukmu. Ucapan terimakasih yang sangat besar bagi dosen pembimbing Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc., saudara perjuangan Muhammad Faisal yang secara tidak langsung menjadi mentor diskusi dan saudara perjuangan Dara Rulianti Amanda selaku wadah inspirasi. Semoga Allah limpahkan keberkahan, kesehatan dan umur yang panjang, tak sedikitpun jasa mu mampu terbalaskan, begitu luas dan dalam.

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 18 Desember 2019  
yang membuat pernyataan,

Muhammad Tommy Afri Putra  
NIM.11555104633

UIN SUSKA RIAU

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# PEMODELAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC/THERMAL* (PV /T) MENGGUNAKAN FLUIDA NANO UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAN DAYA LISTRIK SEL PV

**MUHAMMAD TOMMY AFRI PUTRA**

**11555104633**

Tanggal Sidang: 18/ Desember/ 2019

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrandas No. 155 Pekanbaru

## **ABSTRAK**

Sistem PV merupakan sistem konversi energi dari energi surya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek Photoelektrik. Sesuai dengan hukum termodinomika tidak semua energi matahari yang dikonversikan oleh sel PV menjadi energi listrik. Lebih dari 80% radiasi matahari tidak dikonversikan ke energi listrik, tetapi terpantulkan atau diubah menjadi energi panas. Energi panas yang dihasilkan, menyebabkan kenaikan temperatur pada sel PV. Kenaikan temperatur sel PV diminimalisir dengan menggunakan sistem PV/T yaitu kombinasi sistem *thermal* pada modul PV berfungsi sebagai penyerap panas dipermukaan modul PV. Tujuan penelitian ini memodelkan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano 0% - 5% dengan memvariasikan ketebalan *reservoir* dan kecepatan aliran fluida. Pemodelan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter temperatur sistem PV/T dengan menggunakan *software* COMSOL *Multiphysics 4.3b*. Nilai temperatur pada sistem PV/T akan digunakan untuk menganalisis peningkatan potensi listrik sel PV dan energi *thermal*. Hasil pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano pada Penurunan temperatur sel PV yang terendah diperoleh pada kosentrasi fluida nano 5% sebesar 303.313 K dengan peningkatan efisiensi sel PV sebesar 12.637 %. Energi sistem PV/T diperoleh pada kosentrasi fluida nano 5% meliputi daya listrik 38.594 W, efisiensi sel PV 12.637 %, energi *thermal* 161.99 K, efisiensi *thermal* 53.112 %, dan efisiensi total 76.667%.

Kata Kunci : *photovoltaic, photovoltaic-thermal, pemodelan, comsol multiphysics4.3b*



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# **MODELING OF PHOTOVOLTAIC/THERMAL (PV/T) SYSTEM USING NANO FLUID TO IMPROVE PV CELL EFFICIENCY AND ELECTRICAL POWER**

**MUHAMMAD TOMMY AFRI PUTRA**

**11555104633**

*Date Of The Session: 18/Desember/ 2019*

*Department of Electrical Enggineering*

*Faculty Of Science And Technology*

*Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University Riau*

*Street Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

## **ABSTRACT**

*The PV system is a system of energy conversion from solar energy to electricity using photoelectric effects. In accordance with the law of thermodynamics, not all solar energy is converted by PV cells into electrical energy. More than 80% of solar radiation is not converted to electrical energy, but is reflected or converted to thermal energy. The increase in PV cell temperature is minimized by using a PV / T system which is a combination of the thermal system on the PV module that functions as a heat absorber on the surface of the PV module. The purpose of this study is to model the PV / T system by using 0% -5% nano fluid by varying reservoir thickness and fluid flow velocity. This modeling is carried out to get the parameter value of the PV / T system temperature using COMSOL Multiphysics 4.3b software. The temperature value in the PV / T system will be used to analyze the increased electrical potential of PV cells and thermal energy. The results of modeling the PV / T system by using nano fluids at the lowest PV cell temperature reduction were obtained at 5% nano fluid concentration by 303,313 K with an increase in PV cell efficiency by 12,637%. PV / T system energy is obtained at 5% nano fluid concentration including 38,594 W electrical power, PV cell efficiency 12,637%, thermal energy 161.99 K, 53.112% thermal efficiency, and 76.667% total efficiency.*

**Keywords:** *photovoltaic, photovoltaic-thermal, modeling, comsol multiphysics 4.3*

UIN SUSKA RIAU



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Pemodelan Sistem Photovoltaic - Thermal (PV/T) Menggunakan Fluida Nano Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Daya Listrik Sel PV”**.

Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studi nya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materil, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Ibunda tercinta Yulielvina, ayahanda terhormat Agus Pidar yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materil dan doa kepada penulis.
2. Saudara seperjuangan Muhammad Faisal dan Saudari Dara Rulianti Amanda yang telah memberikan saran dan masukan motivasi yang sangat berharga agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. DR, H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. Drs.Ahmad Darmawi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
5. Ibu Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi pada program studi Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.

6. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan banyak waktu serta pemikirannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada penyelesaiannya, melalui beliau penulis mendapatkan pengetahuan yang sangat berharga, dengan keikhlasan dan kesabaran dalam memberikan penjelasan dari nol hingga penulis menjadi paham sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
7. Ibu Susi Afriani, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Novi Gusnita, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
9. Teman seperjuangan calon S.T TEE'15 dan *ENERGY*'15 yang telah memberikan dorongan, membantu, menemani dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Serta seluruh pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tanpa bantuan dan dorongan yang diberikan, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah meluangkan waktunya, hanya Allah SWT yang mampu membalas niat baik dan keikhlasan dengan sempurna..

Pada penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT dan kekurangan datang dari penulis. Dalam hal ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan ilmu, pengalaman dan pengetahuan penulis dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini, maka dari itu untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini penulis mengharapkan kritikan dan saran kepada semua pihak yang sifatnya membangun.

Pekanbaru, 18 Desember 2019

Muhammad Tommy Afri Putra



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR RUMUS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMBANG.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-4
1.3 Tujuan Penulisan .....	I-4
1.4 Batasan Masalah .....	I-5
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>II-1</b>
2.1 <i>Study Literature</i> .....	II-1
2.2 Perpindahan panas .....	II-3
2.2.1 Konduksi.....	II-3
2.2.2 Konveksi.....	II-3
2.2.2.1 Bilangan Tidak Berdimensi .....	II-3
2.2.2.2 Macam-Macam Konveksi.....	II-4
2.2.3 Radiasi .....	II-5
2.3 Fluida Nano .....	II-5
2.3.1 Karakteristik Sifat Fluida Nano .....	II-7

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4 PV ( <i>Photovoltaic</i> ).....	II-8
2.4.1 Karakteristik PV ( <i>Photovoltaic</i> ) .....	II-9
2.4.2 Jenis-Jenis PV ( <i>Photovoltaic</i> ).....	II-10
2.4.3 Faktor Kinerja <i>Photovoltaic</i> .....	II-12
2.5 <i>Photovoltaic-Thermal</i> (PV/T).....	II-13
2.6 Penyelesaian Metode Matematika .....	II-14
2.6.1 Metode Numerik.....	II-14
2.6.2 Metode Analitik.....	II-15
2.7 Persamaan Matematika Pada Sistem <i>Photovoltaic Thermal</i> (PV/T).....	II-16
2.8 Analisis Pemodelan Sistem PV/T .....	II-17
2.8.1 Energi Listrik .....	II-17
2.8.2 Energi <i>Thermal</i> Pada Sistem PV/T .....	II-18
2.8.3 Efisiensi Total .....	II-18
2.9 Pemodelan Dan Simulasi.....	II-20
2.9.1 Konsep Simulasi .....	II-19
2.9.2 Tahap Simulasi .....	II-20
2.10 <i>Software</i> yang Digunakan Untuk Persamaan Differensial Matematika .....	II-21
2.11 Comsol Multi-Fisika .....	II-21
2.11.1 Langkah Mensimulasikan Model Comsol.....	II-22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>III-1</b>
3.1 Alur proses Penelitian.....	III-1
3.2 Tahap perencanaan .....	III-3
3.2.1 Identifikasi Masalah .....	III-3
3.2.2 Penentuan Judul Penelitian.....	III-3
3.2.3 Rumusan Masalah .....	III-3
3.2.4 Tujuan Manfaat .....	III-3
3.3 Studi Literatur.....	III-4
3.4 Pengumpulan Data PV/T .....	III-4
3.4.1 Model Sistem PV/T .....	III-4
3.4.2 Data Historis .....	III-6
3.4.3 Sifat Material Sistem PV/T .....	III-6
3.5 Analisis Temperatur .....	III-6



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.6 Simulasi .....	III-6
3.6.1 Pemrosesan Awal.....	III-8
3.6.2 Perhitungan Numerik.....	III-11
3.6.3 Pemrosesan Akhir .....	III-11
3.7 Validasi .....	III-11
3.8 Analisa Pemodelan Sistem PV/T.....	III-11
3.8.1 Analisis Energi Listrik .....	III-12
3.8.2 Analisis Energi <i>Thermal</i> .....	III-12
3.8.3 Analisis Efisiensi Total .....	III-12
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>IV-1</b>
4.1 Model Sistem PV/T .....	IV-1
4.2 Data Historis.....	IV-3
4.2.1 Data Temperatur Angin, Kecepatan Angin dan Radiasi Matahari ...	IV-3
4.2.2 Sifat Material Sistem PV/T.....	IV-3
4.2.3 Sifat Material Fluida Nano .....	IV-4
4.3 Analisis Aliran Laminar .....	IV-4
4.4 Validasi .....	IV-6
4.5 Pemodelan Sistem PV/T .....	IV-7
4.6 Analisis Profil Temperatur .....	IV-10
4.7 Analisis Profil Kecepatan Pada Sistem PV/T.....	IV-13
4.8 Analisis Energi Listrik Pada Sistem PV/T .....	IV-14
4.9 Energi Listrik .....	IV-14
4.9.1 Temperatur Sel PV .....	IV-16
4.9.2 Efisiensi Listrik Pada Sel PV.....	IV-17
4.9.3 Daya Listrik Pada Sel PV .....	IV-18
4.10 Analisis Energi <i>Thermal</i> Pada Sistem PV/T .....	IV-19
4.11 Energi <i>Thermal</i> Pada Sistem PV/T .....	IV-22
4.11.1 Temperatur <i>Reservoir Outlet</i> Pada Sistem <i>Thermal</i> .....	IV-22
4.11.2 Efisiensi <i>Thermal</i> .....	IV-23
4.11.3 Laju Energi <i>Thermal</i> .....	IV-24
4.12 Efisiensi Total Pada Sistem PV/T .....	IV-25
4.13 Analisis Peningkatan Efisiensi dan Daya Listrik Sel PV	
Sistem PV/T Dengan Menggunakan Fluida Nano .....	IV-26

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.14 Analisis Efisiensi Total Pada Sistem PV/T .....	IV-27
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>V-1</b>
5.1 Kesimpulan .....	V-1
5.2 Saran .....	V-2

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



UIN SUSKA RIAU

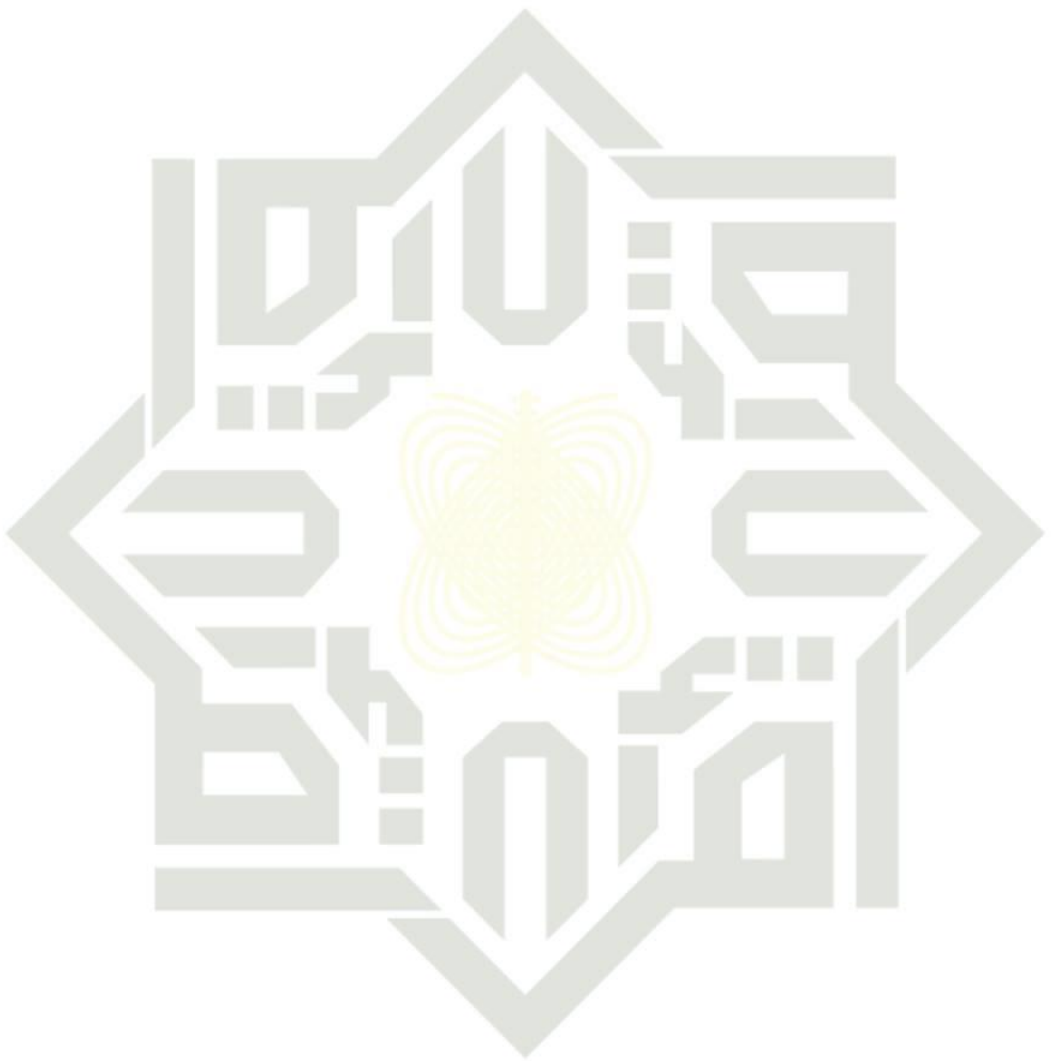


## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Skema Pembangkit Listrik Photovoltaik (PV) .....	II-9
2.2 Panel Surya <i>Monocrystalline Silicon</i> .....	II-10
2.3 Panel Surya <i>Polycrystalline Silicon</i> .....	II-10
2.4 Panel Surya <i>Amorphous/ Thin Film</i> .....	II-11
2.5 Panel Surya <i>Thin Film Photovoltaic</i> .....	II-11
2.6 Efek Layar Temperatur <i>On Voltage</i> (V) .....	II-12
2.7 Radiasi Matahari .....	II-12
2.8 Skema Berbagai Jenis Energi Surya .....	II-13
3.1 Proses Alur Penelitian .....	III-14
3.2 Diagram Simulasi .....	III-14
3.3 Ikon Comsol .....	III-14
3.4 Pemilihan <i>Space Dimension</i> .....	III-14
3.5 Pemilihanan <i>Add Physics</i> , Pilih <i>Fluid Flow, Non-Isothermal Flow</i> Laminar Flow Profil Kecepatan Pada Sistem PV/T .....	III-14
3.6 <i>Select Study Type</i> .....	III-14
3.7 Kolom Parameter PV/ T Pada Comsol .....	III-14
3.8 <i>Geometry</i> PV/T Pada Comsol .....	III-14
3.9 Material Pada PV/T .....	III-14
4.1 Model Desain PV/T .....	IV - 2
4.2 Profil Temperatur Sistem PV/T (a) Validasi (b) <i>Bradley</i> .....	IV – 7
4.3 Persamaan Konveksi Dalam <i>Software Comsol</i> .....	IV – 8
4.4 Persamaan Radiasi Dalam <i>Software Comsol</i> .....	IV – 8
4.5 Persamaan Aliran Fluida Nano Dalam <i>Sotware Comsol</i> .....	IV – 9
4.6 Persamaan Kekekalan Energi Dalam <i>Software Comsol</i> .....	IV – 9
4.7 Persamaan Gelombang Radiasi Matahari Dalam <i>Software Comsol</i> .....	IV – 9
4.8 Profil Temperatur Pada Sistem PV/T .....	IV-12
4.9 Profil Kecepatan Pada Sistem PV/T .....	IV-13
4.10 Grafik Temperatur Pada Sistem PV/T .....	IV-16
4.11 Grafik Efisiensi Listrik Sel PV Pada Sistem PV/T .....	IV-18
4.12 Grafik Daya Listrik Pada Sistem PV/T .....	IV-19

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- |      |   |       |
|------|---|-------|
| 4.13 | Grafik Temperatur <i>Reservoir Outlet</i> Pada Sistem PV/T..... | IV-22 |
| 4.14 | Grafik Efisiensi <i>Thermal</i> Pada Sistem PV/T .....          | IV-23 |
| 4.15 | Grafik Laju Energi <i>Thermal</i> Pada Sistem PV/T .....        | IV-24 |
| 4.16 | Grafik Efisiensi Total Pada Sistem PV/T.....                    | IV-27 |



UIN SUSKA RIAU



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data Temperatur Angin, Kecepatan Angin dan Radiasi Matahari.....	IV - 3
4.2 Sifat Material .....	IV - 3
4.3 Aliran Laminar Pada <i>Reservoir</i> Sistem PV/T .....	IV - 5
4.4 Energi Listrik Pada Sistem PV/T .....	IV-14
4.5 Energi Thermal Pada Sistem PV/T .....	IV-20
4.6 Efisiensi Total Pada Sistem PV/T .....	IV-25
4.7 Energi Listrik dan <i>Thermal</i> Pemodelan Pada Sistem PV/T Menggunakan Fluida Nano .....	IV-28

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Persamaan Pendinginan <i>Newton</i> .....	II-3
2.2 Bilangan <i>Reynold</i> (Re) .....	II-3
2.3 Bilangan <i>Nusselt</i> (Nu) .....	II-4
2.4 Persamaan Dentitas .....	II-7
2.5 Persamaan Viskositas .....	II-7
2.6 Persamaan Panas Spesifik ( <i>Heat Capacity</i> ) Fluida Nano .....	II-7
2.7 Persamaan Konduktivitas <i>Thermal</i> .....	II-8
2.8 Persamaan Konduksi Panas.....	II-15
2.9 Persamaan Panas yang Dihilangkan.....	II-16
2.10 Persamaan yang Mengatur Aliran Fluida Nano .....	II-16
2.11 Persamaan Aliran Fluida .....	II-16
2.12 Persamaan Panjang Gelombang Radiasi Panas.....	II-16
2.13 Efisiensi Listrik Pada Sel PV .....	II-17
2.14 Daya Listrik Pada Sel PV .....	II-17
2.15 Menghitung Energi Listrik Ke Radiasi Matahari.....	II-17
2.16 Laju Energi <i>Thermal</i> .....	II-18
2.17 Efisiensi <i>Thermal</i> .....	II-18
2.18 Efisiensi Total <i>Thermal</i> .....	II-18

UIN SUSKA RIAU





## DAFTAR SIMBOL

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$\rho$	Massa Jenis ( $\text{Kg/m}^3$ )
$\mu$	Viskositas Fluida ( $\text{Kg/m.s}$ )
$\beta_{ref}$	Koefisien <i>Thermal Monocrystalline</i>
$\Delta$	Perpindahan Panas
$\dot{m}$	Laju Aliran Massa Fluida ( $\text{Kg/s}$ )
$\eta_{ref}$	Efisiensi Listrik <i>Monocrystalline</i>
$\eta_{tot}$	Efisiensi Sel Photovoltaik
$\eta_{pv}$	= Efisiensi Total
$\eta_{th}$	= Efisiensi <i>Thermal</i>

UIN SUSKA RIAU

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir semua aktivitas manusia membutuhkan energi, sedangkan ketersediaannya semakin berkurang. Kebutuhan akan energi semakin meningkat terutama di negara-negara industri mencapai peningkatan hingga 70% antara tahun 2000 sampai dengan 2030[1].

Pada tahun 2020, kebutuhan energi listrik akan mencapai 19,5 - 20 Trilyun kWh, sedangkan sumber energi primer berupa minyak dan gas bumi hanya mampu menyumbang 12,4 Trilyun Kwh. Ini merupakan suatu hal yang memprihatinkan dan mengkhawatirkan mengingat minyak dan gas bumi yang selama ini diandalkan suatu saat nanti akan habis, Status persediaan minyak dunia diperkirakan akan habis 23 tahun ke depan, gas akan habis kurang waktu 62 tahun ke depan, sedangkan batu bara 146 tahun ke depan tidak akan tersedia lagi. untuk indonesia sendiri diperkirakan kurang waktu 18 tahun lagi persediaan akan habis[1]. Sesuai dengan kebijakan umum bidang Energi (KUBE) tahun 1980 dan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 996.K / 43 / MPE / 1999 tentang memprioritaskan energi terbarukan untuk mengurangi konsumsi energi fosil. Oleh sebab itu, pengembangan dan implementasi energi terbarukan merupakan solusi terbaik saat ini. [2]

Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar. Beberapa diantaranya bisa segera diterapkan di tanah air, seperti bioethanol sebagai pengganti bensin, biodiesel untuk pengganti solar, tenaga panas bumi, mikrohidro, tenaga surya, tenaga angin, bahkan sampah / limbah pun bisa digunakan untuk membangkitkan listrik. Hampir semua sumber energi tersebut sudah dicoba diterapkan dalam skala kecil di tanah air, satu diantaranya ialah energi matahari yang memiliki potensi energi yang sangat baik. [3]

Energi matahari atau surya merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi yang berupa cahaya matahari. Cahaya matahari terdiri atas foton atau partikel energi matahari yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Energi matahari yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi matahari global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi matahari atmosfer bumi adalah  $1.353 \text{ W/m}^2$  yang dinyatakan sebagai konstanta matahari[2].

## Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Indonesia berada di garis khatulistiwa, sehingga potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi. Karena matahari terus ada sepanjang tahun, dengan rata-rata bersinar 6 hingga 8 jam per hari. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa radiasi suryadi Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran yaitu kawasan Barat Indonesia (KBI) sebesar 4.5 kWh/m<sup>2</sup>, variasi bulanan sekitar 10%, untuk kawasan Timur Indonesia (KTI) sebesar 5.1 kWh/m<sup>2</sup> perhari, variasi bulanan sekitar 9% dan rata-rata potensi pancaran matahari di Indonesia sebesar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> perhari, variasi bulanan sekitar 9% [3].

Pemanfaatan Energi matahari yang dipancarkan ke bumi yang berupa cahaya dapat dilakukan dengan mengkonversikan energi matahari menjadi listrik melalui teknologi *photovoltaic* (PV). Prinsip dasar konversi energi matahari menjadi energi listrik terjadi ketika PV menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton. Energi foton pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik [1]. Sesuai dengan hukum termodinomika tidak semua energi matahari yang dikonversikan oleh sel PV menjadi energi listrik. Lebih dari 80% radiasi matahari tidak dikonversikan ke energi listrik, tetapi terpantulkan atau diubah menjadi energi panas. Energi panas yang dihasilkan, menyebabkan kenaikan temperatur pada sel PV.

Peningkatan temperatur pada sel PV akan menurunkan performa sel PV yaitu penurunan efisiensi pada sel PV. Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap keadaan normal pada 25°C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemah kan tegangan (VOC). Efisiensi keseluruhan sel PV turun secara drastis dengan peningkatan temperatur. Tingkat penurunannya berkisar dari 0.25% menjadi 0.5% per derajat °C, tergantung pada bahan sel digunakan [4].

Pada penelitian ini, jenis sel PV yang akan diteliti adalah PV jenis *monocrystalline*. Jenis PV ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Efisiensi sel *monocrystalline* mampu mencapai 15 – 20 %, oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal dari pada *polycrystalline*. *monocrystalline* menyerap panas lebih banyak dari *polycrystalline*, itu artinya suhu permukaan *monocrystalline* akan lebih tinggi dibandingkan dengan *polycrystalline* pada lingkungan yang sama. Semakin tinggi suhu *crystal silicon*, semakin menurun kemampuannya. Pada suhu tinggi performa



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

*monocrystalline* tidak sebaik *polycrystalline*, artinya akan terjadi penurunan performa yang lebih banyak pada solar panel *monocrystalline*[5].

Nilai temperatur sel PV dapat diperkirakan berdasarkan suhu udara *ambient* dan iradiasi matahari yang jatuh ke panel dengan menggunakan metode NOCT (*Nominal Operation Cell Temperature*). Pada perhitungan ini, spesifikasi sel *monocrystalline* yang digunakan memiliki koefisien panas sebesar 0,54% dan efisiensi sel PV sebesar 13%. Pengujian temperatur sel PV dalam keadaan STC (*standard Test Condition*) yaitu dengan temperatur dan iradiasi matahari sebesar 25°C dan 1000 W/m<sup>2</sup>. Dari hasil perhitungan diperoleh temperatur sel sebesar 56.25°C dan efisiensi sel PV 10.81%. Sehingga terjadi penurunan efisiensi sel PV sebesar 83.15%[6].

Dari permasalahan diatas diperlukan suatu inovasi teknologi untuk mengatasi permasalahan efisiensi sel PV. Inovasi yang dilakukan adalah dengan mengkombinasikan sistem PV dan sistem *thermal*. Kombinasi sistem PV dan sistem *thermal* dikenal dengan nama sistem *Photovoltaic / Thermal (PV/T)*. Sistem PV/T merupakan sistem integrasi modul PV dan kolektor *thermal* dalam satu peralatan. Kombinasi sistem *thermal* pada modul PV berfungsi sebagai penyerap panas dipermukaan modul PV, sehingga temperatur pada modul PV dapat berkurang dan efisiensinya modul PV dapat meningkat.

Berdasarkan penelitian [6] "*Modeling a Combined Photovoltaic / Thermal (PV/T) Solar Panel*" tujuan penelitian ini memodelkan sistem PV/T untuk meningkatkan efisiensi *thermal* dan listrik dengan memvariasikan laju aliran fluida dan ketebalan *reservoir*. Pada penelitian ini, jenis sel PV yang digunakan *monocrystalline*. Pemodelan sistem PV/T dilakukan dengan menggunakan *software COMSOL Multiphysic*. Hasil penelitian yang didapatkan bahwa efisiensi tertinggi sel PV/T 95.7% di mana aliran ketebalan *reservoir* adalah 0.015 mm dan kecepatan aliran fluida *inlet* 0.01 m/s. Pada ketebalan *reservoir* 0.005 mm dan kecepatan aliran fluida *inlet* 0.005 m/s diperoleh nilai efisiensi *thermal* dan listrik yang paling tidak efisien, dengan efisiensi total 27.5%[6].

Dari permasalahan yang dikemukakan diatas, penulis tertarik melakukan pemodelan sistem PV/T. Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem dan merupakan representasi dari sebuah bentuk nyata. Tujuan suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem diterapkan di lapangan. Pemodelan sistem PV/T pada penelitian ini merupakan pengembangan penelitian [6]. Penelitian [6] menggunakan air sebagai fluida pada sistem *thermal*, sedangkan penelitian ini akan menggunakan fluida nano di sistem *thermal*. Fluida

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

nano dipilih pada penelitian ini karena fluida nano merupakan fluida transfer kalor tingkat lanjut yang berpotensi meningkatkan kinerja transfer kalor dan memiliki kelebihan pada daya pemompaan yang rendah sehingga memungkinkan upaya peningkatan efisiensi energi pada sistem *thermal*. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa sifat-sifat termofisik fluida nano harus dipertimbangkan untuk peningkatan transfer kalor[7].

Pada kajian ini, pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano, hal pertama yang akan dilakukan adalah menghitung nilai temperatur sel PV dan temperatur keluaran dari sistem *thermal* pada sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano. Perhitungan nilai temperatur dihitung menggunakan *software* comsol 4.3b. *Software* comsol merupakan piranti *interaktif* untuk memodelkan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik berdasarkan pada persamaan *differensial persial*. Keluaran dari simulasi comsol akan menghasilkan profil temperatur dan profil kecepatan. Dari profil ini akan diperoleh nilai dari temperatur sistem PV/T. Standar perhitungan temperatur sel PV dan temperatur keluaran sistem *thermal* menggunakan penelitian [6]. Hasil keluaran temperatur pada pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano selanjutnya akan digunakan untuk menganalisis energi sistem PV/T yaitu energi listrik dan energi *thermal*. Energi listrik sistem PV/T meliputi efisiensi sel PV dan daya listrik sel PV, sedangkan energi *thermal* meliputi energi *thermal*, efisiensi *thermal* dan juga pada penelitian ini juga akan menganalisis energi total yang dihasilkan oleh sistem PV/T.

Berdasarkan penelitian diatas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul **“Pemodelan Sistem *Photovoltaic* / *Thermal* (PV/T) Menggunakan Fluida Nano Untuk Meningkatkan Efisiensi dan Daya Listrik Sel PV”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun Rumusan masalah dalam penelitian ini berupa :

1. Bagaimana menghasilkan pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano ?
2. Bagaimana menganalisis penurunan temperatur sel PV pada sistem PV/T menggunakan fluida nano?
3. Bagaimana menganalisis energi listrik yang dihasilkan sistem PV/T menggunakan fluida nano?
4. Bagaimana menganalisis energi *thermal* yang dihasilkan sistem PV/T menggunakan fluida nano?
5. Bagaimana menganalisis efisiensi total sistem PV/T menggunakan fluida nano?



### 1.3

#### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menghasilkan pemodelan pada sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano.
2. Menganalisis penurunan temperatur sel PV pada sistem PV/T menggunakan fluida nano.
3. Menganalisis energi listrik yang dihasilkan pada sistem PV/T menggunakan fluida nano.
4. Menganalisis energi *thermal* yang dihasilkan pada sistem PV/T menggunakan fluida nano.
5. Menganalisis efisiensi total pada sistem PV/T menggunakan fluida nano.

### 1.4

#### Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak melebar dari pembahasan maka penulis membatasi permasalahan, adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Aliran fluida pada *reservoir* di anggap laminar dan dalam keadaan *steady* (*stasionary*)
2. Tidak ada debu atau partikel lain pada permukaan PV yang dapat mengganggu penyerapan energi radiasi matahari ketika menjalankan simulasi
3. Tidak ada EVA pada lapisan PV
4. Nilai parameter temperatur *inlet*, radiasi matahari, ambient temperatur, kecepatan angin pada saat melakukan simulasi dengan comsol diambil nilai STC.
5. Pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan *software* comsol 4.3b
6. Jenis sel PV yang digunakan pada penelitian ini PV jenis *monocrystalline* dengan efisiensi 13% dan koefisien panas 0,54%.
7. Pada penelitian ini hanya menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PV/T, tidak memperhitungkan pembangkit listrik tenaga surya.
8. Konsentrasi fluida nano yang akan dimodelkan 0% - 5%
9. Pemodelan sistem PV/T pada penelitian ini kecepatan aliran fluida *reservoir* diasumsikan 0.001 m/s, 0.002 m/s, 0.003 m/s, 0.004 m/s, 0.005 m/s, 0.006 m/s, 0.007 m/s, 0.008 m/s, 0.009 m/s, 0.01 m/s dan ketebalan *reservoir* 0.01 m, 0.005 m, 0.015 m.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 1.5

### Manfaat Penelitian

1. Secara akademis diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penambahan referensi yang berkaitan dengan sistem PV sebagai sumber energi terbarukan.
2. Penelitian ini diharapkan bisa bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah agar bisa memanfaatkan sumber energi surya matahari.
3. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi akademis yang berkaitan dengan Panel Surya
4. Diharapkan Penelitian ini mampu ikut membantu pemerintah dalam upaya mengatasi masalah energi terutama dalam pencarian dan pengoptimalan energi alternatif berupa Panel Surya.
5. Ikut berpartisipasi dalam mengurangi efek pemanasan global dengan menggunakan sumber energi yang bersih.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pada Tugas Akhir ini yang merupakan pencarian referensi yang berhubungan dengan khusus atau permasalahan yang akan di selesaikan dari Tugas Akhir, artikel, dan jurnal yang berkaitan.

Penelitian [8] yang berjudul ”Implementasi *Water Cooling System* Untuk Menurunkan *Temperature Losses* Pada Panel Surya”, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan *water cooling system* pada panel surya. Hasil dari penelitian yang dilakukan, terjadinya peningkatan efisiensi pada panel surya dengan adanya *water cooling system*, sehingga efisiensi yang diperoleh dalam penelitiannya sebesar 3 % yang memiliki daya *output* 14 Watt, sedangkan tanpa menggunakan *water cooling sytem* memperoleh daya *output* sebesar 13,61 Watt [8].

Penelitian [9] yang berjudul “Pendingin Untuk Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya”. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya keluaran panel surya dengan metode pendinginan, dan berdasarkan hasil dari penelitian yang didapatkan secara keseluruhan pada tegangan *maximum power* dan daya maksimum meningkat. Pada temperatur 4 °C, tegangan saat *maximum power* dan tegangan *open circuit* masing - masing adalah 17,5 V dan 22 V dan daya maksimum adalah 10 W. Ketika suhu turun ke 20°C, tegangan saat *maximum power* dan tegangan *open circuit* meningkat masing-masing ke 20 V dan 24 V. Daya keluaran meningkat ke 12 W ketika temperatur turun ke 20°C. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwasanya dengan penambahan pendinginan pada panel surya, daya keluaran dari panel surya meningkat karena ketika temperatur turun, tegangan *open circuit* dari panel surya meningkat sehingga secara otomatis daya keluaran juga meningkat[9].

Penelitian [10] yang berjudul ”Analisis Dan Permodelan Efek Laju Aliran Fluida Pada *HibridSolar Photovoltaic-Thermal Panel*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek laju aliran fluida pada *hibridsolar PV/T* panel. Hasil dari Penelitian dilakukan dengan sistem *hibrid PV/T* dengan menggunakan *software COMSOL Multiphysics*. Simulasi yang dilakukan dengan lima radiasi 309,63 W/m<sup>2</sup>, 409,63 W/m<sup>2</sup>, 535,50 W/m<sup>2</sup>, 634,25 W/m<sup>2</sup> dan 658 W/m<sup>2</sup> terhadap variasi laju aliran massa pendingin dalam rentang 0,011 - 0,041 kg/s. Efisiensi elektrik tertinggi diperoleh sebesar 11,46% di

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

dibawah level *fluks* radiasi  $313,63 \text{ W/m}^2$  dan efisiensi termal tertinggi diperoleh sebesar 25,83% di bawah level *fluks* radiasi  $535,50 \text{ W/m}^2$  [10].

Penelitian [11] yang berjudul “Dipo PV cooler, penggunaan sistem pendingin temperatur *heatsink fan* pada panel PV sebagai peningkatan kerja energi listrik baru terbarukan”. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan pendingin panel surya dengan menggunakan *heatsink fan*, hasil dari penelitian yang dilakukan bahwasanya dengan menggunakan penggunaan *heatsink fan* memperoleh tegangan keluaran sebesar 19.11 volt, dan tanpa menggunakan *heatsink fan* menghasilkan tegangan sebesar 18,80 Volt, dengan demikian menggunakan pendingin *heatsink fan* mengalami penurunan rata-rata suhu sebesar 28.20 %, dan kenaikan keluaran meningkat sebesar 1.64 % dari efisiensi panel surya sebesar 12,1% [11].

Penelitian [6] yang berjudul “*Modeling a Combined Photovoltaic / Thermal (PV/T) Solar Panel*” tujuan dari pemodelan solar PV/T untuk meningkatkan efisiensi *thermal* dan listrik dengan memvariasikan laju aliran fluida dan ketebalan *reservoir*. Analisis desain panel surya PV/T dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak COMSOL *Multiphysic*. Hasil penelitian yang di dapat bahwa efisiensi tertinggi sel PV/T 95,7% di mana aliran ketebalan *reservoir* adalah 0,015 mm dan kecepatan aliran fluida masuk 0,01 m/s. Pada ketebalan *reservoir* 0,005 mm dan kecepatan aliran fluida masuk 0,005 m/s diperoleh nilai efisiensi termal dan listrik yang paling tidak efisien, dengan efisiensi total 27,5% [6].

Penelitian [8], [9], [10] dan [11] dilakukan dengan metode eksperimen dan memanfaatkan fluida kerja air untuk menyerap panas dari sel PV/T. Kelebihan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terkait adalah penulis menggunakan metode pemodelan dan simulasi karena penelitian tidak mungkin dilakukan secara eksperimen yang disebabkan oleh besarnya biaya penelitian dan kurangnya fasilitas di laboratorium. pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano menggunakan *software* comsol 4.3b.

Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian [6]. Perbedaannya adalah pada penelitian ini penulis menggunakan fluida kerja yaitu fluida nano dengan variasi konsentrasi yaitu 1% - 5%, dan memvariasikan nilai dari kecepatan aliran fluida masuk (0,001 - 0,01) m/s serta ketebalan *reservoir* pada sistem *thermal*. Pada kajian ini, pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano, nilai temperatur sel PV dan temperatur keluaran dari sistem *thermal* pada sistem PV/T akan dihitung menggunakan *software* comsol 4.3b. Hasil perhitungan temperatur tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menganalisis energi listrik dan *thermal* sistem PV/T. energi listrik meliputi efisiensi



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sel PV dan potensi daya listrik sel PV yang dihasilkan oleh sistem PV/T, sedangkan energi *thermal* meliputi efisiensi energi *thermal*, efisiensi *thermal*. Penelitian ini juga menganalisis total energi yang dihasilkan oleh sistem PV/T.

## 2.2 Perpindahan Panas

Dalam pemanfaatan energi perlu diketahui semua jenis perpindahan energi panas yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat kita perhatikan semua jenis perpindahan energi dibawah ini.

### 2.2.1 Konduksi

Panas mengalir secara konduksi dari daerah temperatur tinggi ke temperatur yang rendah. Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum *Fourrier*.

### 2.2.2 Konveksi

Udara yang mengalir di atas suatu permukaan logam pada sebuah alat pemanas udara surya, yang dipanasi secara konveksi yaitu konveksi paksa dan konveksi alamiah, apabila aliran udara disebabkan oleh *blower* maka ini disebut konveksi paksa dan apabila disebabkan oleh *gradien* massa jenis maka disebut konveksi alamiah. Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan hukum persamaan pendinginan *Newton* sebagai berikut[12]:

$$q = hA(T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

$h$  = Koefisien perpindahan panas secara konveksi (  $W / m^2 \cdot K^{-1}$  )

$A$  = Luas permukaan kolektor surya ( $m^2$ )

$T_{out}$  = Temperatur *outlet* ( K )

$T_{in}$  = Temperatur fluida ( K )

$q$  = Laju perpindahan panas ( watt )[12].

### 2.2.2.1 Bilangan Tidak Berdimensi

#### 1. Bilangan *Reynold* (*Re*)

*Re* yang dimaksud adalah bilangan *Reynold* yang biasanya berkisar antara 2000 sampai 10000 untuk aliran turbulen dan dibawah 2000 untuk aliran laminar. Bilangan *Reynold* dapat dirumuskan[12]:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

$Re$  = Bilangan *Reynold*

$d$  = Diameter (m)

$\rho$  = Massa Jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  = Kecepatan Rata-Rata dari Fluida (m/s)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (kg/m.s)

## 2. Bilangan *Nusselt* ( $Nu$ )

Bilangan *Nusselt* juga merupakan bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan proses perpindahan panas pada dinding pipa atau pada lapisan batas (*boundary layer*).

Dalam bentuk persamaan ditulis[12] :

$$Nu = \frac{hL}{k_f} \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana:

$Nu$  = bilangan *Nusselt*

$L$  = panjang karakteristik

$k_f$  = konduktivitas termal fluida

$h$  = koefisien pindah panaskonvektif (unit)

### 2.2.2.2 Macam-Macam Konveksi

#### 1. Konveksi Alamiah

Konveksi alamiah (*natural convection*), atau konveksi bebas (*free convection*), terjadi karena fluida mengalami proses pemanasan sehingga berubah densitasnya (kerapatan) yang bergerak naik. Perpindahan panas dan aliran fluida merupakan dua hal yang berbeda. Bagian perpindahan panas menginisiasi aliran fluida karena terdapat perbedaan temperatur dan massa jenis sehingga fluida yang suhunya lebih tinggi menjadi lebih ringan, akibatnya fluida akan mengalir dengan sendiri. Aliran fluida yang timbul akan mengakibatkan perpindahan panas dan sebaliknya perpindahan panas akan mengakibatkan aliran fluida. Perpindahan panas dan aliran fluida keduanya saling mempengaruhi, inilah yang disebut konveksi natural.

Aplikasi dari konveksi alami ini di bidang *engineering* cukup luas. Aliran udara di atmosfer dan aliran arus air di biosfer dapat dijelaskan dengan konveksi natural, demikian juga dengan proses pengkondisian udara (*water conditioning*), kondensor, pengeringan, solar *collector*, dan lain sebagainya[12].

## Konveksi Paksa

Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi dengan sengaja dipaksakan. Yang mana molekul fluida yang lebih tinggi temperaturnya mempunyai bobot lebih ringan sehingga akan cenderung naik, dan digantikan oleh molekul fluida lainnya yang bertemperatur lebih rendah dan tentunya bobot yang lebih berat. Seperti, Pemanfaatan paksa yang terjadi pada sistem pendingin mobil, yaitu air diedarkan melalui pipa-pipa air dengan sebuah pompa. Mesin panas yang tidak dikehendaki dibawa oleh sirkulasi air menuju ke radiator, dalam sirip-sirip radiator air hangat diturunkan suhunya dengan udara dingin disekitar radiator yang ditarik oleh kipas angin, air yang dingin kembali diedarkan menuju pipa-pipa air yang bersentuhan dengan blok-blok mesin yang mengalami pemanasan untuk mengulang siklus berikutnya[12].

### a. Aliran Laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama aliran. Semacam aliran atau gas dimana fluida melewati saluran secara teratur dan lancar. Laminar adalah ciri dari arus yang berkecepatan rendah, dan partikel sedimen dalam zona aliran berpindah dengan mengelinding (*rolling*) ataupun terangkat (*saltation*). Aliran laminar mempunyai bilangan *Reynold* lebih kecil dari 2300.

### b. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis aliran antar partikel fluidanya saling berpotongan[12].

## 2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Salah satu contoh perpindahan panas radiasi terdapat pada pengaplikasian kolektor panel surya[12].

## 2.3 Fluida Nano

Fluida nano merupakan suatu campuran antara fluida pendingin dengan suatu partikel padat yang berukuran nano atau yang disebut partikel nano. Ukuran partikel nano berkisar antara 1 nm 100 nm. S. Choi dan J. Eastman memperkenalkan istilah fluida nano pada tahun 1990. Apabila pada sebuah benda terdapat perbedaan temperatur maka secara



alamiah akan terjadi perpindahan energi dalam bentuk panas dari daerah yang temperatur lebih tinggi ke daerah yang temperaturnya lebih rendah yang biasa disebut proses perpindahan panas[5].

Demikian pula proses perpindahan panas dari suatu sumber pemanas yang berupa pelat yang didinginkan oleh suatu fluida kerja seperti air atau fluida lain seperti fluida nano, maka bisa terjadi proses perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi. Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah di dalam suatu medium padat, cair atau gas atau antar *medium* berlainan yang bersinggungan secara langsung[5].

Sehingga terjadi perambatan panas. Jika perambatan panas tersebut disertai dengan gerakan massa atau gerakan partikel zat perantaranya maka perpindahan panas tersebut dikenal dengan perpindahan panas konveksi. Perpindahan panas konveksi ini banyak digunakan dalam analisis perpindahan panas antara permukaan padat dengan fluida yang berada disekelilingnya, mekanisme perpindahan panas konveksi tersebut dapat terjadi secara alamiah maupun secara paksa. Jika permukaan pemanas mengalirkan panas maka fluida di dekat permukaan akan terpanaskan sehingga kerapatannya akan berkurang[5].

Akibatnya gaya badan pada suatu satuan *volume* di bagian fluida yang terpanaskan menjadi lebih kecil dari pada dalam fluida yang tidak terpanaskan, ketidakseimbangan ini menyebabkan fluida yang terpanaskan bergerak naik ke atas, mekanisme perpindahan panas ini dikatakan sebagai perpindahan panas konveksi alamiah. Sedang perpindahan panas yang gerakan fluidanya diperoleh dari alat-alat seperti pompa, kompresor, kipas dan lainnya maka merupakan perpindahan panas konveksi paksa[6].

Karakteristik yang mencerminkan keadaan aliran fluida sebenarnya di alam adalah *kompresibel* (massa jenis tidak konstan), *rotasional* (partikel fluida berputar), tak tunak (tidak tetap) dan *viskos* (terdapat pergeseran dengan permukaan). Persamaan atur dinamika fluida yang mampu menggambarkan semua kondisi di atas dikenal dengan nama persamaan *Navier-Stokes* yang terdiri dari persamaan kekekalan massa, kekekalan momentum serta kekekalan energi untuk aliran fluida yang melibatkan perpindahan panas. [7].

### 2.3.1. Karakteristik Sifat-Sifat Fluida Nano

#### 1. Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter keberhasilan pencampuran fluida nano. Semakin tinggi densitas maka kerapatan partikel nano dalam fluida dasarnya semakin besar, sehingga akan meningkatkan konduktivitas termal. Densitas dari fluida nano dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari korelasi Pak dan Cho (1998) [13].

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (2.4)$$

Dimana,

- $\phi$  = fraksi volume partikel nano,
- $\rho_p$  = densitas partikel nano (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{bf}$  = densitas fluida dasar (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{nf}$  = densitas fluida nano (kg/m<sup>3</sup>).

#### 2. Viskositas

Karakteristik viskositas fluida nano yang tinggi akan memiliki tahanan perpindahan kalor yang tinggi. Untuk mengukur viskositas fluida nano dapat menggunakan *viskometer Ostwald*, dapat juga menggunakan persamaan dari *Einstein* (1956) [13]

$$\mu_{nf} = (1 - \phi)\sqrt{2,5} \quad (2.5)$$

Dimana,

- $\Phi$  = fraksi volume partikel nano
- $\mu_{nf}$  = viskositas efektif fluida nano (kg/m.s)
- $\mu_{bf}$  = viskositas dinamik fluida dasar (kg/m.s).

#### 3. Panas Spesifik (*Heat Capacity*)

Untuk menghitung panas spesifik fluida nano pada tekanan konstan  $C_{p,nf}$  dapat diestimasi berdasarkan korelasi dari *Xuan* dan *Roetzel* [13].

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi) \cdot k_f + \phi \cdot \rho_{cp} \quad (2.6)$$

Dimana,

- $\phi$  = fraksi volume partikel nano
- $C_{p,nf}$  = panas spesifik fluida nano (kg/m<sup>3</sup>)
- $k_f$  = konduktivitas partikel nano (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{cp}$  = panas spesifik fluida dasar (kg/m<sup>3</sup>).

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### 4. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal digunakan untuk mengukur tingkat kemampuan penukaran kalor dari suatu material baik *solid* maupun *liquid*. Pada umumnya alat yang digunakan untuk mengukur konduktivitas termal adalah *Transient hot wire*. dapat juga menggunakan persamaan dari *Maxwell* [13]:

$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_f)\phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_f)\phi} \quad (2.7)$$

dengan,

$\phi$  = fraksi volume partikel nano

$k_{nf}$  = konduktivitas termal fluida nano (w/m.K)

$k_p$  = konduktivitas termal partikel nano (w/m.K)

$k_{bf}$  = konduktivitas termal fluida dasar(w/m.K).

#### 2.4 Photovoltaic(PV)

Panel PV adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik, mereka disebut surya atau matahari atau sel, karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut *sel photovoltaic*, PV dapat diartikan sebagai cahaya listrik.

Sistem PV terdiri dari sel surya dengan beberapa *mounting* lainnya. Langsung mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Sel PV pertama diciptakan pada tahun 1954 oleh beberapa peneliti dari *Bell Laboratorium Telepon* memamerkan utama turun ke bumi berubah radiasi matahari menjadi listrik dengan cara peningkatan semacam l yang sel surya memiliki efisiensinya 6%. *Reguler* kolektor PV yang memiliki efektivitas 15-20% [4].

Pada umumnya, sel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (*function*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis positif dan semikonduktor jenis negatif[12].

Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

Sel surya pada umumnya alat yang mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam sel modul dikarenakan perbedaan electron. Hasil dari aliran elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi *battery* / aki sesuai tegangan dan *ampere* yang diperlukan[12].

Berikut adalah skema pembangkit listrik *photovoltaic* PV.



Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik *Photovoltaic* PV[12]

#### 2.4.1 Karakteristik PV (*Photovoltaic*)

Sel PV merupakan suatu alat yang bila terkena cahaya radiasi matahari dapat menghasilkan arus, dan arus yang dihasilkan tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan dan arus menunjukkan bahwasanya tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai sel surya hubung pendek / arus rangkaian pendek atau *ISC* (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur.

Nilai *ISC* akan naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 250 C. Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai rangkaian terbuka. Tegangan sel surya kemudian menjadi tegangan rangkaian terbuka, *Voc* (*open circuit voltage*). Ketergantungan *Voc* terhadap irradiansi bersifat *logaritmis*, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan *Isc*. Oleh karena itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada sel surya, peningkatan temperatur dari 250C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%[5].

Kapasitas daya dari salah satu modul surya dilambangkan dalam *watt peak* (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC). Standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1000W/m<sup>2</sup> yang tegak lurus sel surya pada suhu 25°C. Modul *photovoltaic* memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variabel bernilai tak terhingga(*open circuit*) maka arus bernilai minimum nol dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan *open circuit* (*Voc*).

Pada keadaan yang lain, ketika tahanan *variable* bernilai nol (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus *short circuit* (*Isc*). Jika tahanan variabel memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus dan tegangan akan diperoleh nilai yang bervariasi.[5]

#### 2.4.2 Jenis Photovoltaic (PV)

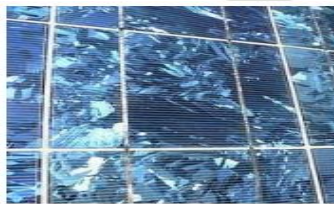
##### Monocrystalline silicon



Gambar 2.2 Panel Surya *Monocrystalline silicon*[12].

Merupakan panel yang paling efisien, jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis-tipis. Karena sel surya berasal dari satu batangan kristal, maka setiap potongan memiliki karakteristik yang identik dengan yang lainnya. Sehingga efisiensi *monocrystalline* mampu mencapai 15-20% efisiensi didapat. Adapun kelemahan dari panel ini tidak akan berfungsi baik ditempat cahaya matahari kurang yang menyebabkan efisiensi turun drastis[12].

##### 2. Polycrystalline



Gambar 2.3 Panel Surya *Polycrystalline silicon*[12].

Panel surya *polycrystalline* memiliki efisiensi lebih rendah dari panel *monocrystalline*. Panel *Polycrystalline* merupakan panel surya / *solar cell* yang memiliki susunan kristal acak. Tipe *Polykristal* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monokristal* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan

tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Jenis ini dibuat dari beberapa kristal silikon yang dilebur kemudian dituangkan dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Efisiensinya sekitar 13-16%, tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*[12].

#### 4. Amorphous/ThinFilm



Gambar 2.4 Panel Surya *Amorphous/ Thin Film*[12].

Disebut *Thin Film* karena panel ini sangat murah untuk dibuat. Teknologi *Amorphous* ini sering terdapat pada solar panel yang kecil, seperti pada kalkulator atau lampu taman. Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke bagian macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah[12].

#### 4. Thin Film Photovoltaic



Gambar 2.5 Panel Surya *Thin Film Photovoltaic*[12]

Merupakan panel suryadua lapisan dengan struktur lapisan tipis *mikrokristal-silicon* dan *amorphous* dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monokristal* dan *polykristal*. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction PV* dengan tiga lapisan dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang setara[12].

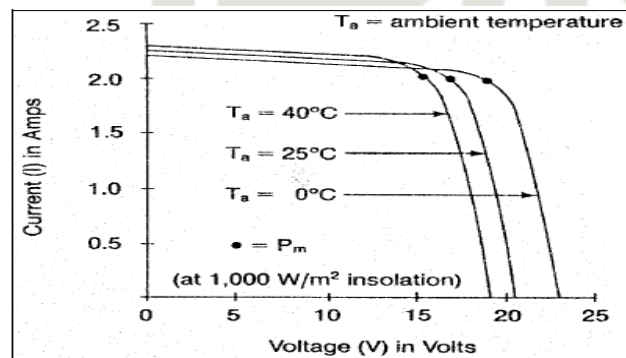


#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

### 2.4.3 Faktor Kinerja PV

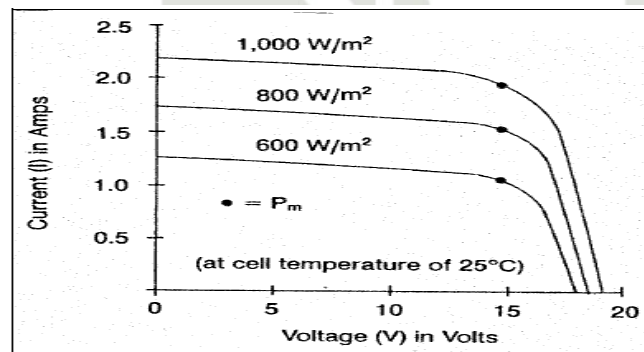
Kinerja PV agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada faktor di bawah ini :

1. Ambient air temperatur. Sebuah sel suryadapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap keadaan normal pada 25°C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemah kan tegangan (VOC). Setiap kenaikan temperatur nya sel surya 10°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang di hasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel 10°C[15].



Gambar 2.6 Efek Layar Temperatur *On Voltage (V)* [15]

2. Radiasi matahari. Di bumi dan berbagai lokasi bervariasi dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi pada *current (I)* sedikit pada tegangan.



Gambar 2.7. Radiasi Matahari *Voltage (v) In Volts*[15]

3. Kecepatan angin bertiup. Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca sel surya.
4. Keadaan atmosfer bumi. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis pertikel debu udara asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

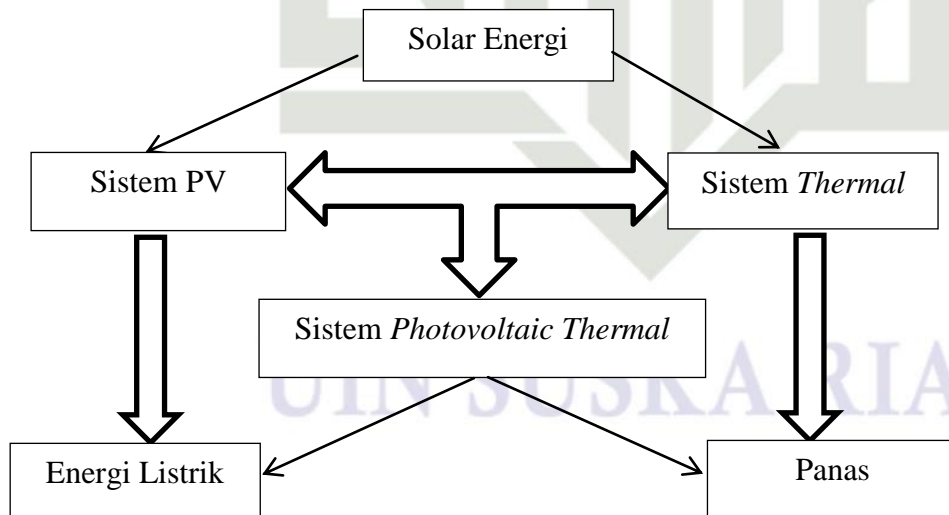
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Orientasi panel atau larik sel surya. Orientasi dari rangkaian sel surya ke matahari secara optimum adalah penting agar sel surya dapat menghasilkan energi maksimum.
6. Posisi letak sel surya terhadap matahari (*tilt angle*). Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum  $\pm 1000 \text{ w/m}^2$  atau  $1 \text{ kW/m}^2$  [15].

### 2.5 Photovoltaic-Thermal (PV/T)

Photovoltaic-Thermal (PV/T) merupakan integrasi dari modul PV dan kolektor panas surya pada satu peralatan. Konsep gabungan sebuah sel surya mengubah sistem PV dengan mengkonversi energi matahari menjadi listrik, yang mana sesuai dengan hukum termodinamika, namun tidak semua energi matahari dapat konversi menjadi energi listrik. Sebagian besar energi yang di terima PV diubah menjadi panas, energi panas dapat menyebabkan kenaikan temperatur sel PV, kenaikan temperatur pada sel PV dapat mengurangi efisiensi, dengan demikian maka dapat digunakan untuk memanaskan ruangan atau air, dan juga bisa dimanfaatkan untuk sistem pengeringan seperti mengeringkan pakaian, ikan, dan juga bisa mengeringkan kerupuk dan bisa di manfaatkan lebih banyak lagi [9].

Desain PV/T memberikan keuntungan tambahan, seperti pengurangan tegangan termal, usia pakai modul PV akan lebih panjang dan stabilisasi karakteristik tegangan-arus sel surya [16]. Skema sistem PV/T dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Skematik Berbagai Jenis Energi Surya [16]

## 2.6. Penyelesaian Model Matematika

### 2.6.1 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang di formulasikan secara matematik dengan cara operasi hitungan yang terdiri dari operasi tambahan, kurang, bagi dan kali[17].

#### a. Manfaat Metode Numerik

1. Mampu menagani persamaan besar, ketaklienieran dan geometri yang rumit, yang ada dalam masalah rekayasa tidak mungkin di pecahkan secara analitis.
2. Mengetahui secara singkat dan jelas teori matematika yang mendasari paket program.
3. Mampu merancang program sendiri sesuai permasalahan yang di hadapi pada masalah rekayasa.
4. Metode ini mampu menggambarkan ketangguhan dan keterbatasan komputer dalam menagani masalah rekayasa yang tidak dapat di tangani secara anlitis.
5. Menyediakan serana memperkuat pengertian matematika. Karena salah satu kegunaannya adalah menyederhanakan matematika yang lebih tinggi menjadi operasi-operasi matematika yang mendasar.

#### b. Kelebihan Metode Numerik

1. Selalu dapat memperoleh solusi persoalan
2. Dengan bantuan komputer, perhitungan cepat dan hasilnya dapat di buat sedekat mungkin dengan nilai sesungguhnya.
3. Tampilan hasil perhitungan dapat di simulasikan

#### c. Kekurangan Metode Numerik

1. Nilai yang diperoleh adalah hampiran dan bukan nilai *exact*.
2. Tanpa bantuan alat hitung, perhitungan umumnya lama dan berulang-ulang.

### 2.6.2 Metode Analitik

Metode analitik adalah metode penyelesaian model matematika dengan rumus-rumus aljabar yang sudah baku (lazim). Metode analitik disebut juga metode sejati karena memberikan solusi sejati (*Exact Solution*) atau solusi yang sesungguhnya, yaitu solusi yang menggunakan galat (*error*) sama dengan nol. Metode analitik ini hanya unggul untuk sejumlah persoalan yang terbatas, yaitu persoalan yang muncul di dunia nyata serta



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

melibatkan bentuk proses yang rumit. Akibatnya nilai praktis penyelesaian metode analitik menjadi terbatas.

- Kelebihan metode analitik
  - Nilai yang di peroleh adalah nilai sejati atau *exact*
- Kekurangan metode analitik
  - Memakan banyak waktu tenaga dan pikiran
  - Kadang tidak menemukan penyelesaian[17].

## 2.7 Persamaan Matematika Sistem Photovoltaic Thermal (PV/T)

*Photovoltaic – thermal* atau disebut dengan PV/T, merupakan integrasi dari modul PV dan kolektor panas surya dalam satu peralatan. Konsep hibrida adalah sebuah sel surya mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik pada kondisi puncak dengan efisiensi tergantung pada tipe spesifik solar-sel[9].

Sebagian besar energi matahari yang diterima diubah menjadi panas, panas ini akan menyebabkan kenaikan suhu pada sel surya. Kenaikan suhu ini dapat dimanfaatkan dengan cara sistem pendingin pada modul PV/T dengan aliran fluida, energi listrik yang dihasilkanpun lebih maksimal. Untuk memperoleh efisiensi maka digunakan berbagai persamaan perhitungan. Adapun ketika panas matahari menyinari PV dan terdapat energi matahari yang yang tidak dapat dimanfaatkan dengan baik yang berupa panas dipermukaan panel, maka untuk bisa memanfaatkan panas tersebut dilakukan konduksi panas melalui permukaan panel PV/T pada *casing* waduk kandang, dengan begitu untuk mengetahui konduksi panas pada PV dapat ditulis dengan persamaan [6]:

$$\nabla \cdot (K \nabla T) = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

Sel PV menerima energi matahari, kemudian dikonversi menjadi energi listrik dan sebagian diubah menjadi energi panas. Tujuan dari konduksi panas sel PV adalah untuk menghilangkan sebanyaknya panas dalam rangka meningkatkan efisiensi. Dan untuk jumlah energi panas yang dihilangkan pada bagian bawah dan atas permukaan sel *photovoltaic* dapat ditulis dengan persamaan berikut ini.

$$q_{conv} = -h_{c,forced}A(T_{pv} - T_{amb}) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- $T_{pv}$  = Temperatur PV  
 $T_{amb}$  = Suhu Lingkungan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hilangnya panas di bawah dan atas permukaan sel PV ini membutuhkan suatu media untuk memaksimalkan performa PV, maka digunakan aliran fluida berupa nano sebagai media menghilangkan panas, adapun persamaan yang mengatur untuk aliran fluida nano pada PV/T ditunjukkan di bawah ini [6].

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0, \rho u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu(\nabla u + (\nabla u)^T)) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dapat di tuliskan dengan persamaan konduksi-konveksi juga diselesaikan untuk perpindahan panas pada aliran air. Perpindahan Panas ini dapat ditulis dengan persamaan berikut total perpindahan panas secara konveksi merupakan kombinasi perpindahan panas pada permukaan lapisan atas dan lapisan bawah pada sistem PV/T. Dan perpindahan panas dari aliran fluida (air) di *reservoir*. *Software* comsol menyediakan modul “*non-isothermal laminar flow*” dan “*conjugate heat transfer physics*” yang digunakan untuk memodelkan perpindahan panas secara konduksi di sel PV dan perpindahan panas secara konveksi di waduk *reservoir* pada bagian bawah sistem PV/T. *Software* comsol sangat cocok untuk menyelesaikan ini karna tidak seragaman temperatur disetiap lapisan yang diakibatkan oleh aliran fluida dari *inlet* (masuk) ke *outlet* (keluar) di *reservoir*.

Comsol menyelesaikan secara numerik persamaan kekekalan energi dan momentum, yang mana persamaan ini dikembangkan untuk menyelesaikan persamaan aliran fluida. Persamaan ini ditunjukan dibawah ini secara berturut-turut.[6].

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \dots\dots\dots (2.11)$$

Kehilangan panjang gelombang radiasi panas dapat dihitung dari persamaan berikut[5].

$$q_{lw} = \sigma (T_{pv}^4 - T_{amb}^4) \dots\dots\dots (2.12)$$

## 2.8 Analisis Pemodelan Sistem PV/T

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem dan merupakan representasi dari sebuah bentuk nyata. Tujuan suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem di terapkan di lapangan. Pemodelan sistem PV/T pada penelitian ini merupakan pengembangan penelitian [6].

## 2.8.1 Energi Listrik

Energi listrik adalah energi utama yang dibutuhkan bagi peralatan listrik / energi yang tersimpan dalam arus listrik dengan satuan *ampere* (A) dan tegangan listrik dengan satuan volt (V) dengan ketentuan kebutuhan konsumsi daya listrik dengan satuan Watt (W) untuk menggerakkan motor, lampu penerangan, memanaskan, mendinginkan atau menggerakkan kembali suatu peralatan mekanik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain.

### 1. Efisiensi Listrik Pada Sel PV

Sistem aliran fluida merupakan sistem penyejuk dengan tujuan meningkatkan efisiensi dengan mengurangi panas pada PV. Efisiensi listrik pada sel PV dapat diberikan oleh Persamaan di bawah ini sebagai fungsi dari efisiensi pada, suhu lingkungan, PV referensi efisiensi sel, suhu sel PV, dan sel PV termal koefisien[6].

$$\eta_{pv} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{pv} - T_{ref})] \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana

$\eta_{pv}$  = Efisiensi PV(%)

$\eta_{ref}$  = Efisiensi PV *Monocristaline* (%)

$\beta_{ref}$  = *Thermal PV Monocristaline* (K)

$T_{pv}$  = Temperatur PV (K)

$T_{ref}$  = Temperatur Lingkungan/Masuk (w)

### 2. Daya Listrik Pada Sel PV

Daya listrik menyatakan banyaknya energi listrik yang mengalir persatuan waktu atau besarnya laju aliran energi listrik dengan satuan SI *joule/detik* atau watt. Untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan oleh sistem PV/T dapat menggunakan persamaan berikut ini [6].

$$E_{PV} = \eta_{pv} \times A_m \times G \dots \dots \dots (2.14)$$

Energi listrik yang diterima oleh modul karena yang mengekspos ke radiasi matahari dihitung sebagai berikut:

$$E_{in} = G \cdot A_m \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

$E_{pv}$  = Daya PV (watt)

$A_m$  = Luas Sel PV(m)

$G$  = radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>)



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$\eta_{ref}$  Efisiensi Listrik (%)

$E_{in}$  Energi Masuk (w)

### 2.8.2 Energi Thermal

Energi *thermal* merupakan bentuk energi dasar, yaitu semua energi yang dapat dikonversi secara penuh menjadi energi panas. Sebaliknya, pengonversian dari energi *thermal* ke energi lain dibatasi oleh Hukum Termodinamika Kedua.

#### 1. Energi *thermal*

Energi *thermal* diekstraksi dengan fluida nano sebagai pendinginan pada sistem PV/T dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_{fluida} = m_{fluida} C_p (T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$E_{fluida}$  = fluida nano masuk

$m_{fluida} C_p$  = massa fluida nano

$T_{in} T_{out}$  = temperatur masuk dan keluar

#### 3. Efisiensi *Thermal*

Energi *thermal* yang diubah menjadi energi listrik pada sistem PV/T dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{E_{fluida}}{E_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

$\eta_{th}$  = Efisiensi *thermal* (%)

$E_{fluida}$  = Fluida Nano Masuk

$E_{in}$  = Energi Masuk (w)

### 2.8.3 Efisiensi Energi Total

Analisa efisiensi energi secara keseluruhan pada sistem PV/T dapat dilakukan dengan penjumlahan dari efisiensi energi listrik yang dihasilkan sel PV dan efisiensi *thermal*. Dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$\eta_{tot} = \frac{E_{fluida} + E_{pv}}{E_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

$\eta_{tot}$  = Efisiensi Total (%)

$E_{fluida}$  = Fluida Nano Masuk

## 2.9 Pemodelan Dan Simulasi

Pemodelan adalah membentuk suatu benda-benda atau objek dan mendesain objek tersebut sehingga terlihat seperti hidup. Sesuai dengan objek dan aslinya, proses ini secara keseluruhan dapat dikerjakan di komputer.

Simulasi adalah suatu teknik meniru operasi proses yang terjadi pada suatu sistem dengan perantara perangkat lunak (*software*) komputer yang dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut dapat dipelajari. Simulasi merupakan alat yang tepat untuk melakukan eksperimen dalam rangka mencari perolehan terbaik dari komponen-komponen sistem dikarenakan akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya tinggi jika eksperimen dicoba secara nyata. Dan suatu teknik numerik untuk melakukan percobaan-percobaan pada suatu komputer digital, yang melibatkan bentuk-bentuk fungsi matematika dan logika tertentu untuk menjelaskan tingkah laku dan struktur suatu sistem nyata yang kompleks[18].

### 2.9.1 Konsep Simulasi

Simulasi sebagai proses pengolahan data dengan penggunaan rangkaian model-model simbolik pada pengoperasian sistem tiruan tidak mengharuskan dan tidak mengajukan penggunaan formula atau fungsi-fungsi dan persamaan tertentu sebagai model simbolik penyelesaian persoalan, tetapi sebaliknya simulasi yang terdiri dari tahapan-tahapan dan langkah-langkah pengolahan data haruslah dilengkapi dengan model-model simbolik yang sesuai memberikan hasil pengoperasian sistem tiruan dalam bentuk data *output* yang berguna untuk penyelesaian persoalan. Simulasi juga tidak terikat dengan penggunaan model-model sistem acuan tetapi memerlukan pemodelan untuk menghasilkan model sistem dan model operasi sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian atau penyidikan.

Penyusunan model-model pada simulasi merupakan bentuk aplikasi dari teori, prinsip, dan pendekatan sistem. Model sistem dan model-model simbolik dari fungsi atau proses serta prosedur pengoperasian sistem tiruan haruslah disusun sebagai perangkat lunak untuk penyidikan dan analisis karakteristik sistem[18]

### 2.9.2 Tahapan Simulasi

Proses Tahapan dalam mengembangkan Model dan simulasi komputer secara umum, sebagai berikut :

- a. Memahami sistem yang akan disimulasikan Jika Pengembang model tidak tahu atau belum mengetahui cara kerja sistem yang akan dimodel simulasikan maka pengembang perlu meminta bantuan seorang ahli dibidang sistem yang bersangkutan. Data masukan, keluaran, *variable* dan parameter masih dalam bentuk simbol – simbol *verbal* (kata – kata).
- b. Mengembangkan Model matematika dari sistem Apabila pengembang sudah mengetahui cara kerja sistem yang bersangkutan, maka tahap berikutnya adalah memformulasikan model matematika dari sistem. Model matematika bisa dalam bentuk persamaan diferensial, persamaan aljabar linear, persamaan logika diskret dan lain – lain disesuaikan dengan karakteristik sistem dan tujuan pemodelan.
- c. Mengembangkan Model matematika untuk simulasi Digunakan untuk menyederhanakan model matematik yang sudah dihasilkan sebelumnya. Agar lebih mudah dalam menyederhanakan model matematika, makadibuatlah suatu *flow chart* untuk merinci tahapan yang harus dilewati untuk membuat program.
- d. Membuat program (*software*) Beberapa *flow chart* dari tahapan sebelumnya kemudian diimplementasikan lebih lanjut menjadi program (*software*) computer
- e. Menguji memverifikasi dan memvalidasi keluaran simulasi Simulasi pada dasarnya adalah menirukan sistem nyata (*realitas*) sehingga tolak ukur baik tidaknya simulasi adalah sejauh mana yang bersangkutan. Pengujian (*testing*) dilakukan pada tingkat modul program, untuk menguji fungsi subsistem. Verifikasi dilakukan untuk membuktikan bahwa hasil implementasi program komputer sudah sesuai dengan rancangan model konsep dari sistem yang bersangkutan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran simulasi dengan data yang diambil dari sistem nyata (*realitas*).
- f. Mengeksekusi program simulasi untuk tujuan tertentu. Eksekusi program komputer bisa dilakukan secara waktu nyata (*real time*) atau waktu tidak nyata (*offline*) tergantung dari tujuan simulasi. Secara umum ada 3 tujuan simulasi, yaitu : untuk mempelajari perilaku sistem, untuk pelatihan (*training*), untuk hiburan / permainan (*gaming*) [18].



## 2.10 Software Yang Di Gunakan Untuk Persamaan Diferensial Matematika

### 1. *Fluent*

*Fluent* adalah perangkat lunak dalam komputer yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas. Aliran dan perpindahan panas dari berbagai fluida dapat disimulasikan pada bentuk *geometri* yang rumit. Dengan menggunakan program *Fluent*, dapat diketahui parameter-parameter aliran dan perpindahan panas yang diinginkan. Distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, dan pola aliran fluida yang terjadi dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa[18].

### 3. *Ansys*

*Ansys* adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). *Ansys* menyediakan fasilitas untuk berintegrasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. *Ansys* berisi beberapa fasilitas diantaranya:

- Mechanical*, untuk analisa struktur (statik) dan termal (perpindahan panas)
- Fluid flow*, yang terdiri dari *ansys CFX* dan *Fluent*, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
- Engineering data*, sebagai *database* material lengkap dengan propertiesnya.
- Design modeler*, digunakan untuk membangun *geometri* model yang akan dianalisa. Juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
- Meshing applicatin*, fasilitas untuk "meshing" baik pada CFD maupun *Explicip Dynamics*.
- Bladegen*, untuk membangun geometri *blade*, seperti fan, *blower*, sudu turbin, dan lainnya[18].

### 4.10 Comsol Multi-Fisika 4.3b

COMSOL multi-fisika merupakan piranti *interaktif* untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik berdasarkan pada persamaan *differensial parsial* (PDEs). Dengan *software* ini anda dapat dengan mudah memperluas model konvensional untuk salah satu tipe ilmu fisika menjadi model-model multi-fisika yang dapat memecahkan gabungan fenomena fisika dan menyelesaikannya secara bersamaan. Menggunakan mode aplikasi ini, anda dapat melakukan berbagai macam tipe analisis termasuk:

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Analisis *stasioner (Time Independent)* dan bergantung waktu (*Time Dependent*)
2. Analisis *linear* dan *non-linear*
3. *Eigen frekuensi* dan analisis pengandaian

Dalam konfigurasi dasarnya, comsol menawarkan pemodelan dan analisis untuk banyak bidang aplikasi. Untuk beberapa bidang aplikasi selalu disediakan modul pilihan[19].

#### 4.10.1 Langkah – Langkah Mensimulasikan Model Comsol

Adapun langkah-langkah mensimulasikan model dengan menggunakan *software* comsol adalah:

- a. Menggambar Model Geometri: Geometri dari total PV / sistem T termasuk semua lapisan diambil secara akurat dengan menggunakan model comsol builder, di mana dimensi ruang 2D telah dipilih.
- b. Memilih Bahan: Setelah model geometri 2D dibangun, bahan telah dipilih untuk setiap lapisan dan sifat masing - masing lapisan telah dinyatakan.
- c. Mendeklarasikan Parameter, variabel dan Fungsi: Berbeda parameters pavariabel dan fungsi yang didefinisikan dan dinyatakan dengan menggunakan alat de global yang definisi. Parameter dan fungsi menyatakan demikian disimpan, yang memfasilitasi penggunaan masa depan mereka dalam mempekerjakan dalam model lainnya.
- d. Pengaturan Fisika Domain : Domain fisika tepat yang cocok dengan untuk setiap lapisan telah ditetapkan. Dalam model simulasi ini, laminar *flow* modul digunakan untuk menggambarkan cairan aliran dan konjugat.
- e. Pengaturan Kondisi Batas: Dalam rangka memecahkan PDE, batas layak telah ditetapkan, yang dikenal sebagai *ditions con*(batas). Kondisi batas seperti yang diberikan oleh persamaan dalam *software* comsol telah digunakan untuk memecahkan model simulasi ini.
- f. *Mesh Generation*: Langkah berikutnya adalah untuk mendekati *metrik domain* *geo* sebagai elemen *finite poligonal* cocok yang disebut generasi *mesh*[19].

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Alur Proses Penelitian

Proses simulasi pada sistem PV/T dimulai dari tahap perencanaan yang terdiri dari identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan masalah, jadwal penelitian yang berkaitan dengan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur penelitian, dan melakukan pengumpulan data dari jurnal rujukan.

Selanjutnya melakukan simulasi dengan *software* comsol 4.3b, bila simulasi valid maka akan dilakukan kelanjutan dengan model berdasarkan tujuan pemodelan pada sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano. dan bila terjadi kesalahan pada simulasi maka hasilnya tidak valid, maka dilakukan perbaikan pada data *input* dan kemudian dilakukan simulasi kembali hingga memperoleh sesuai dari validasi berdasarkan analisis numerik.

Kemudian dilakukan analisa efisiensi energi total pada sistem PV/T untuk mengetahui perolehan energi yang mampu dihasilkan oleh sistem dan energi yang mampu digunakan dari perolehan sistem. Dalam analisa energi PV/T dilakukan dengan menggunakan analisis energi listrik meliputi efisiensi sel PV dan potensi daya listrik sel PV yang dihasilkan oleh sistem PV/T. Langkah terakhir melakukan penarikan kesimpulan, maka selesai dengan tersusunnya dalam bentuk laporan. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada alur diagram 3.1 dibawah ini.

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

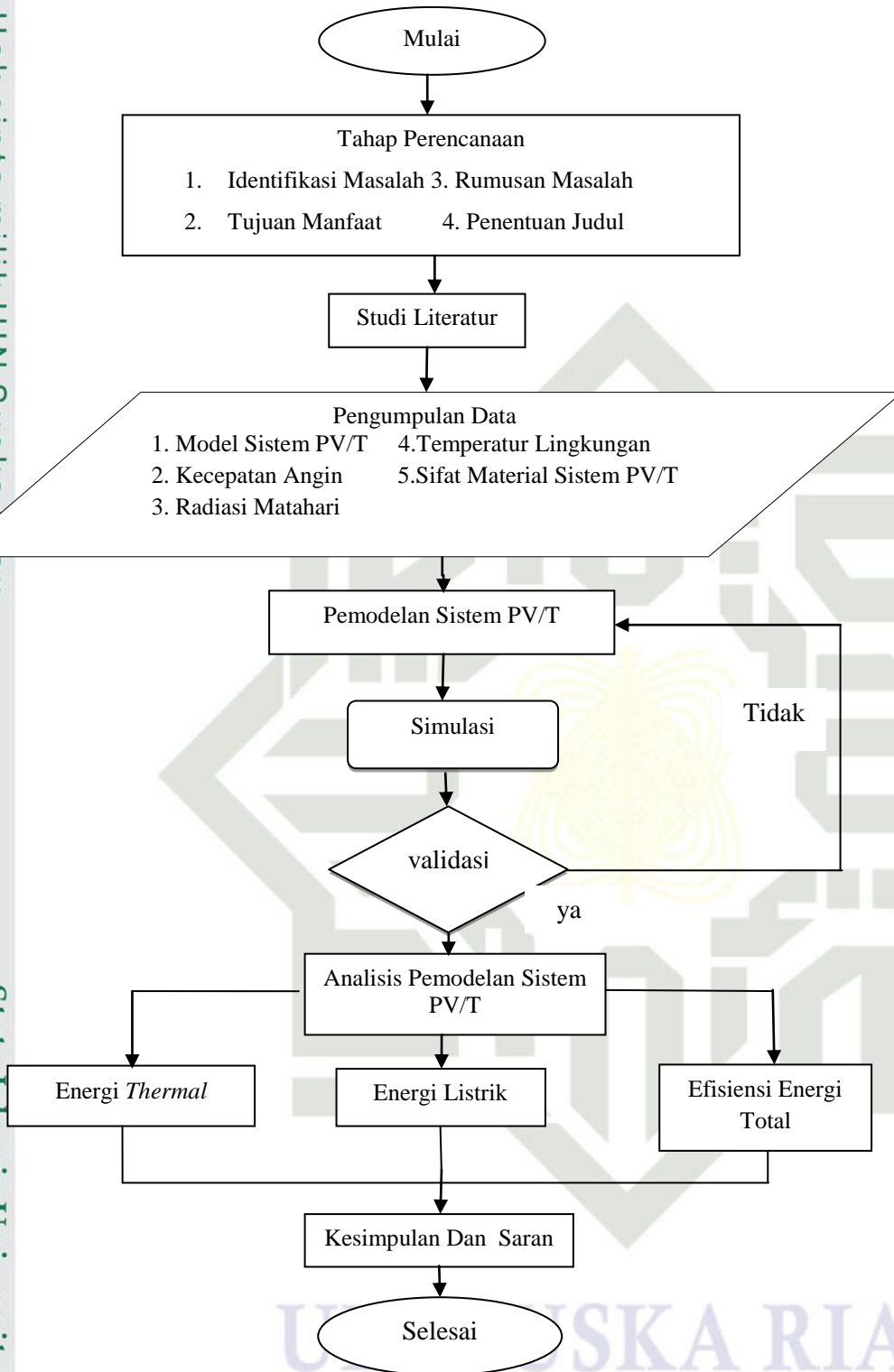


### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 *Flow Chat* Penelitian

### 3.2 Tahap Perencanaan

Pada alur diagram tahap perencanaan dalam penelitian ini melingkupi dari identifikasi masalah, rumusan masalah dan tujuan. Untuk lebih jelasnya sebagai berikut.

#### 3.2.1 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan pada penelitian ini adalah penurunan efisiensi sel PV yang disebabkan oleh peningkatan temperatur pada permukaan PV. Penurunan efisiensi sel PV, dapat dikurangi dengan menghybridkan sistem PV dan sistem *thermal* yang disebut dengan sistem PV/T. Sistem PV/T yang menggunakan sistem sekunder yaitu sistem pendinginan yang menggunakan fluida cair untuk menyerap panas pada sel sehingga dapat mengurangi temperatur pada sel PV, sehingga meningkatkan efisiensi dan daya listrik yang dihasilkan oleh sel PV.

#### 3.2.2. Penentuan Judul Penelitian

Permasalahan yang sudah di dapat maka penulis melakukan penelitian dengan judul “**Pemodelan Sistem Photovoltaic/Thermal (PV/T) Dengan Menggunakan Fluida Nano Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Daya Listrik Sel PV**”.

#### 3.2.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, bagaimana Pemodelan Sistem Photovoltaic / Thermal (PV/T) Dengan Menggunakan Fluida Nano Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Daya Listrik Sel PV.

#### 3.2.4. Tujuan Manfaat

Pada penelitian ini bertujuan menganalisis pemodelan pada sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano, menganalisis daya listrik yang dihasilkan pada sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano. Manfaatnya pada penelitian ini, secara akademis diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penambahan referensi yang berkaitan dengan sistem PV sebagai sumber energi terbarukan. Bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah agar bisa memanfaatkan sumber energi surya matahari, mampu ikut membantu pemerintah dalam upaya mengatasi masalah energi terutama dalam pencarian dan pengoptimalan energi alternatif berupa Panel Surya. Kemudian bisa ikut berpartisipasi dalam mengurangi efek pemanasan global dengan menggunakan sumber energi yang bersih.

### 3.3 Studi Literatur

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengumpulan beberapa penelitian yang dibutuhkan untuk menjadi referensi seperti buku, artikel dan jurnal-jurnal untuk dilakukan *literature review* baik nasional maupun internasional. Untuk mendapatkan topik yang akan diteliti oleh penulis, penulis dapat mengumpulkan sebuah referensi-referensi penelitian yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti.

### 3.4 Pengumpulan Data PV/T

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada. Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 3.4.1 Model Sistem PV/T

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem. Model adalah representasi dari sebuah bentuk nyata, sedangkan sistem adalah saling keterhubungan antar elemen yang membangun sebuah kesatuan, biasanya dibangun untuk mencapai tujuan tertentu. Sistem PV/T pada penelitian ini dimodelkan dalam 2 dimensi yang terdiri atas 2 sistem yaitu sistem PV dan sistem *thermal*. Model sistem PV/T pada penelitian ini sama dengan penelitian [6]. Model sistem terdiri atas 5 lapisan. Lapisan pertama dan kedua merupakan lapisan sistem PV yang terdiri atas lapisan sel PV dan lapisan *thermal paste*. Lapisan ketiga, empat dan lima merupakan lapisan sistem *thermal* yang terdiri lapisan dinding *reservoir* pada lapisan ketiga dan kelima, dan lapisan keempat merupakan lapisan *reservoir*. Lapisan *reservoir* terdapat fluida kerja. Fluida kerja yang digunakan pada penelitian ini menggunakan fluida nano. Fluida nano merupakan fluida yang terdiri fluida dasar dan partikel nano. Pada penelitian ini, pemodelan sistem PV/T mengamsumsi konsentrasi fluida nano dari 0% sampai 5% dengan kecepatan aliran fluida 0.001m/s, 0.002m/s, 0.003m/s, 0.004m/s, 0.005m/s, 0.006m/s, 0.007m/s, 0.008m/s, 0.009m/s, 0.01m/s dan ketebalan *reservoir* 0.015m, 0.01m, 0.005m. Asumsi konsentrasi fluida nano, kecepatan aliran fluida dan ketebalan *reservoir* dipilih pada penelitian ini, sesuai dengan persamaan matematik sistem PV/T di BAB II bahwa aliran fluida pada *reservoir* sistem *thermal* adalah laminar. Aliran laminar merupakan alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (laminar) dan mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida tanpa arus *turbulent* (pusaran air). Aliran laminar mempunyai Bilangan *Reynold* lebih kecil dari 2300.



### 3.4.2 Data Historis

Pemodelan sistem PV/T pada penelitian ini akan diuji pada keadaan *STC (Standar Test Condition)*. Standar *STC* merupakan standar industri untuk kondisi dimana panel surya di uji, dengan menggunakan satu set kondisi tetap semua panel surya dapat lebih akurat dibandingkan dan nilai satu sama lain. Data historis pemodelan sistem PV/T dalam keadaan *STC* meliputi radiasi matahari, suhu lingkungan dan kecepatan angin.

### 3.4.3 Sifat Material Sistem PV/T

Pemodelan sistem PV/T terdiri dari 5 lapisan material. Sifat material sistem PV/T pada penelitian ini meliputi besaran konduktifitas panas, densitas dan panas spesifik pada tekanan konstan. Nilai sifat material sistem PV/T diperoleh dari penelitian[6]. Pada penelitian ini, fluida kerja yang digunakan sistem PV/T adalah fluida nano. Untuk fluida nano, nilai sifat materialnya akan dihitung menggunakan persamaan matematik. Sifat material fluida nano yaitu densitas akan dihitung menggunakan persamaan (2.4), nilai konduktivitas panas dihitung dengan persamaan (2.5) dan persamaan (2.6) digunakan untuk menghitung panas spesifik pada tekanan konstan.

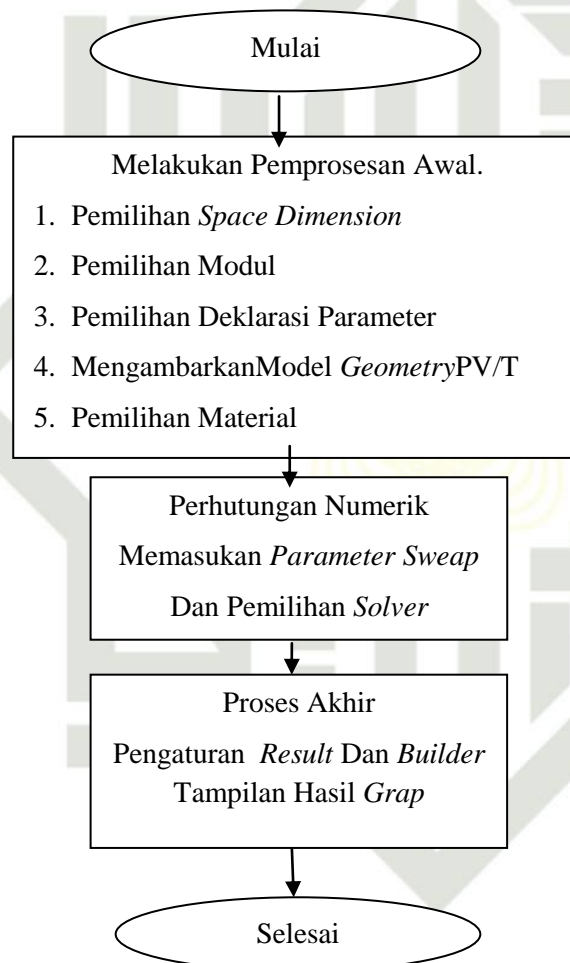
## 3.5 Pemodelan Sistem PV/T

Pemodelan sistem PV/T meliputi pemodelan sistem *thermal* dan sistem PV. Sistem *thermal* dimodelkan memiliki aliran fluida yang alirannya laminar dan sistem PV/T dimodelkan terjadi perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pemodelan sistem PV/T pada penelitian ini akan menggunakan *software* comsol 4.3b untuk mendapatkan nilai temperatur pada sistem PV/T yaitu temperatur sel PV dan temperatur *outlet*. Nilai temperatur ini akan digunakan untuk menganalisis keluaran model sistem PV/T yaitu energi listrik dan energi thermal. Alur pemodelan sistem PV/T menggunakan *software* comsol 4.3b meliputi pemilihan modul *physic*, penginputan parameter yaitu data historis, menggambarkan geometri sistem PV/T sesuai dengan model sistem PV/T dan penginputan sifat material sistem PV/T meliputi densitas, konduktivitas panas dan panas spesifik pada tekanan konstan. Modul *heat transfer* dan *modul laminar flow* merupakan modul yang memodelkan sistem PV/T yang tersedia pada modul *physic* pada *software* comsol 4.3b. Dua modul *physic* sistem PV/T dipilih sesuai dengan persamaan matematik sistem PV/T pada BAB II. Persamaan matematik sistem PV/T pada BAB II menyatakan pada model sistem PV/T terjadi perpindahan panas baik secara konduksi, konveksi, radiasi dan sistem *reservoir* pada sistem *thermal* dimodelkan alirannya laminar. Profil temperatur

dan profil kecepatan merupakan hasil keluaran simulasi sistem PV/T menggunakan *software* comsol 4.3b. Hasil profil keluaran simulasi inilah yang akan digunakan untuk menghitung berapa nilai temperatur sistem PV/T.

### 3.6 Simulasi

Melakukan simulasi untuk menghitung parameter temperatur pada sistem PV/T membutuhkan sebuah alur. Alur yang digunakan untuk mempermudah melakukan simulasi. Berikut ini adalah alur simulasi perhitungan temperatur sistem PV/T dengan menggunakan *software* comsol *Multiphyisic* 4.3b.



Gambar 3.2 Diagram Simulasi

Melakukan suatu simulasi dengan membutuhkan sebuah alur, yang digunakan untuk mempermudah melakukan simulasi. Berikut ini adalah alur simulasi penelitian dengan menggunakan piranti comsol *Multiphyisic* 4.3b. Pada alur diagram simulasi ini memiliki beberapa proses tahapan yang harus di laksanakan dalam penelitian ini dengan menggunakan piranti lunak comsol ini diantaranya.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

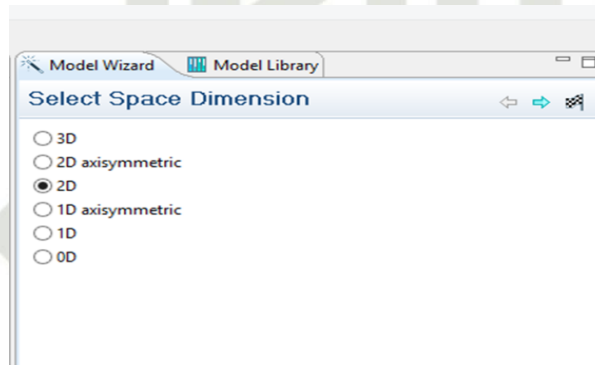
## 3.6.1 Melakukan Pemrosesan Awal

1. Pemrosesan awal Klik ganda ikon COMSOL



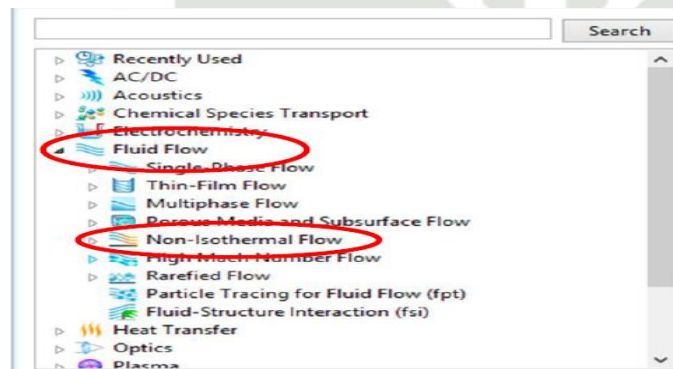
Gambar 3.3 Ikon Comsol [19].

2. Selanjutnya akan muncul halaman utama piranti muncul. Maka langkah awal dilakukan menentukan *specdimension* dengan meklik pada “2 dimensi” pada piranti lunak comsol dan klik *next*.



Gambar 3.4 Pemilihan *Space Dimension*[19].

3. Kemudian Pada pemilihanan *Add Physics*, pilih *Fluid Flow>Non-Isothermal Flow>Laminar Flow nitf*)



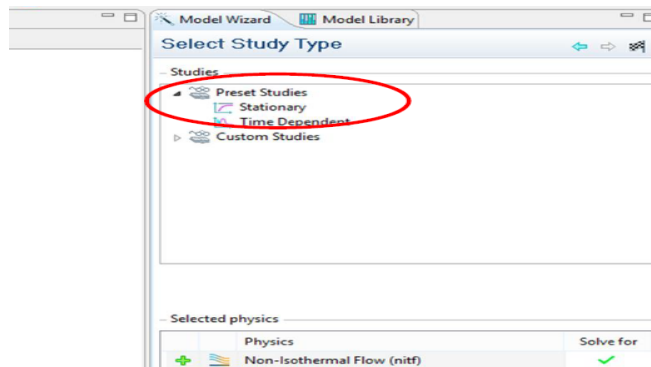
Gambar 3.5 pemilihanan *Add Physics*, pilih *Fluid Flow,Non-Isothermal Flow Laminar Flow nitf*[19].



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Setelah pemilihan *add physics* nya ,maka Temukan *Preset Studies*, kemudian pilih Stationary dan setelah di klik stationary nya klik *finish*.



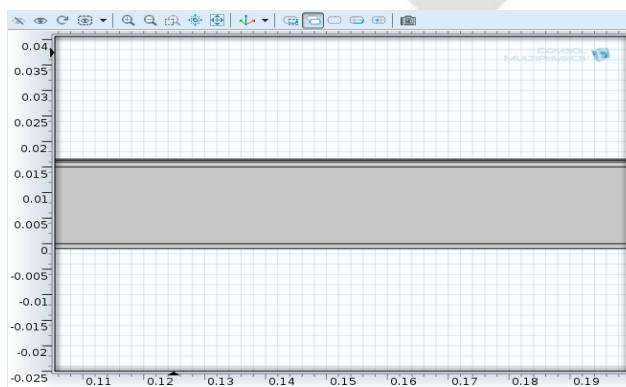
Gambar 3.6 *Select Study Type*[19].

5. Selanjutnya memasukkan parameter yang digunakan berdasarkan kebutuhan yang disimulasikan pada kolom parameter.

Name	Expression	Value	Description
L_ch	30.5/100	0.30500	Channel Length
t_ch	0.015	0.015000	Thickness Channel
t_al	1/1000	0.0010000	Thickness Wall Aluminu...
t_tp	0.3/1000	3.0000E-4	Thickness Thermal Paste
t_pv	0.27/1000	2.7000E-4	Thickness PV
v_in	0.0002	2.0000E-4	Inlet Velocity
T_in	298.15	298.15	Inlet Temperature
T_am	298.15	298.15	Ambient Temperature
h_pv	6.5	6.5000	Coefficient heat transfer...
A_pv	0.305	0.30500	PV dimension
q_rad	1000	1000.0	Sun radiation
n_Tref	13/100	0.13000	
b_ref	0.54/100	0.0054000	
A_ch	L_ch*t_ch	0.0045750	
phi	0.0	0	Solid Copper Concentra...

Gambar 3.7 Kolom Parameter PV/ T Pada Comsol[19].

6. Setelah memasukan parameternya, selanjutnya menggambarkan *geometri* yang akan digunakan dengan memilih pada “Model” dan masukan *geometri* sebanyak yang digunakan lalu masukan nilai ukuran pada *geometri*.

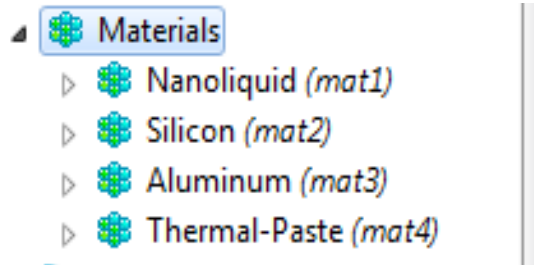


Gambar 3.8 *Geometry* PV/T Pada Comsol[19].

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Langkah selanjutnya melakukan pemilihan material yang digunakan dalam PV/T. Adapun material konduktor yang digunakan berupa *thermal paste* Lalu membuat batasan *selection* dari material pada kolom *geometry entity selection*.



Gambar 3. 9 Material Pada PV/T[19].

### 3.6.2 Perhitungan Numerik

Melakukan Numerik merupakan proses yang dilakukan berdasarkan parameter variabel yang berdasarkan nilai yang di inputkan. Perhitungan numerik akan dilakukan oleh piranti lunak comsol di dalam aplikasi secara otomatis dengan memilih *solver*.

### 3.6.3 Pemrosesan Akhir

Pemrosesan akhir adalah suatu proses dimana tahapan akhir dari melakukan sebuah simulasi comsol yang mana pada proses pemrosesan akhir ini adalah pengaturan *Result* yang mana menampilkan hasil *Grap* dari simulasi yang telah dilakukan.

### 3.7 Validasi

Validasi merupakan proses penentuan model. Konseptual simulasi merupakan representasi mendekati dari sistem nyata. Validasi pada penelitian ini dengan cara membandingkan hasil simulasi yang dihasilkan oleh jurnal rujukan dengan permasalahan dan sistem yang sama yaitu profil aliran temperatur, kecepatan aliran fluida. Jurnal rujukan yang digunakan adalah penelitian [6] “*Modelling A Combined Photovoltaic Thermal Solar Panel*”. Setelah hasil simulasi didapatkan sama dengan jurnal rujukan maka langkah selanjutnya menjalankan simulasi dengan menggunakan *software* comsol 4.3b sesuai dengan permasalahan dan model sistem PV/T pada penelitian ini.

### 3.8 Analisis Pemodelan Sistem PV/T

Pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano, hasil perhitungan temperatur pada sistem PV/T menggunakan *software software* comsol 4.3b. akan digunakan untuk menganalisis energi listrik, energi *thermal* dan energi total sistem PV/T. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah seberapa besar peningkatan energi *thermal* dan energi listrik yang dihasilkan sistem PV/T dari konfigurasi parameter-parameter yang digunakan yaitu konsentrasi fluida nano, ketebalan *reservoir*, kecepatan aliran fluida masuk, dan data historis dalam keadaan STC.

#### 3.8.1 Analisis Energi Listrik

Energi listrik merupakan energi yang dihasil oleh sel PV pada sistem PV/T. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel PV sangat dipengaruhi oleh temperatur sel PV. Pada penelitian ini parameter temperatur sel PV dihasilkan dari simulasi comsol 4.3b. Nilai temperatur sel PV akan digunakan untuk menganalisis efisiensi listrik dan daya listrik yang dihasilkan oleh sel PV dengan menggunakan persamaan 2.13 dan persamaan 2.14.

#### 3.8.2 Analisis Energi *Thermal*

Analisis energi *thermal* merupakan energi yang dihasilkan oleh sistem *thermal* pada sistem PV/T. Energi *thermal* bergantung dari parameter temperatur fluida yang keluar dari sistem *thermal*. Temperatur fluida keluaran pada sistem *thermal* diperoleh dari simulasi comsol 4.3b dan digunakan untuk menganalisis energi sistem *thermal* yaitu berupa parameter energi *thermal* dan efisiensi *thermal*. Analisis energi *thermal* dan efisiensi *thermal* sistem PV/T menggunakan persamaan 2.16 dan persamaan 2.17.

#### 3.8.3 Analisis Efisiensi Total

Setelah mendapatkan energi listrik dan energi *thermal* sistem PV/T. Efisiensi total sistem PV/T akan dihitung menggunakan persamaan 2.18. Analisa efisiensi energi total sistem PV/T dapat dilakukan dengan penjumlahan efisiensi energi listrik yang dihasilkan sel PV dan efisiensi *thermal* sistem *thermal*.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dengan sistem Photovoltaik-*Thermal* dengan menggunakan fluida nano, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano menghasilkan *output* profil temperatur dan profil kecepatan. Profil aliran temperatur menghasilkan aliran temperatur yang naik dari *inlet* ke *outlet*. Profil aliran kecepatan berdasarkan hasil pemodelan sistem PV/T diperoleh aliran kecepatan fluida mengalami peningkatan di *reservoir outlet* yang dipengaruhi oleh parameter kecepatan aliran fluida nano, ketebalan *reservoir* dan konsentrasi fluida nano.
2. Hasil pemodelan PV/T menggunakan fluida nano menghasilkan temperatur sel PV dan temperatur *reservoir outlet*. Temperatur sel PV pada pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano diperoleh nilai temperatur sel PV terendah pada kecepatan 0.01m/s dengan ketebalan 0.005m. Penurunan nilai temperatur sel PV pada pemodelan sistem PV/T di peroleh pada kosentrasi fluida nano 5% sebesar 303.313 K, Temperatur *reservoir outlet* pada sistem *thermal*. Temperatur *reservoir outlet* pada pemodelan sistem PV/T dengan menggunakan fluida nano diperoleh nilai temperatur *reservoir outlet* dengan kecepatan 0.001 m/s dan ketebalan 0.005m, peningkatan nilai temperatur *reservoir outlet* pada pemodelan sistem PV/T diperoleh pada kosentrasi fluida nano 5% sebesar 323.64 K
3. Pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano yang menghasilkan *output* energi listrik. Hasil pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano memperoleh daya listrik yang tertinggi dari kosentrasi fluida nano 5% sebesar 38.594 K,
4. Pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano yang menghasilkan *output* energi *thermal*. Hasil pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano. memperoleh energi *thermal* yang tertinggi pada kosentrasi fluida nano 5% sebesar 161.99 W. Efisiensi *thermal* yang tertinggi pada kosentrasi fluida nano 5% sebesar 53.112%,
5. Pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano yang menghasilkan *output* efisiensi total. Hasil pemodelan sistem PV/T menggunakan fluida nano

memperoleh nilai efisiensi total tertinggi pada konsentrasi fluida nano 5% sebesar 76.667 %,

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk peneliti selanjutnya yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan sistem PV/T diharapkan dapat di terapkan sebagai sistem pembangkit tenaga surya (PLTS).
2. Untuk penelitian selanjutnya untuk data historis dapat di inputkan sesuai dengan lokasi penelitian.

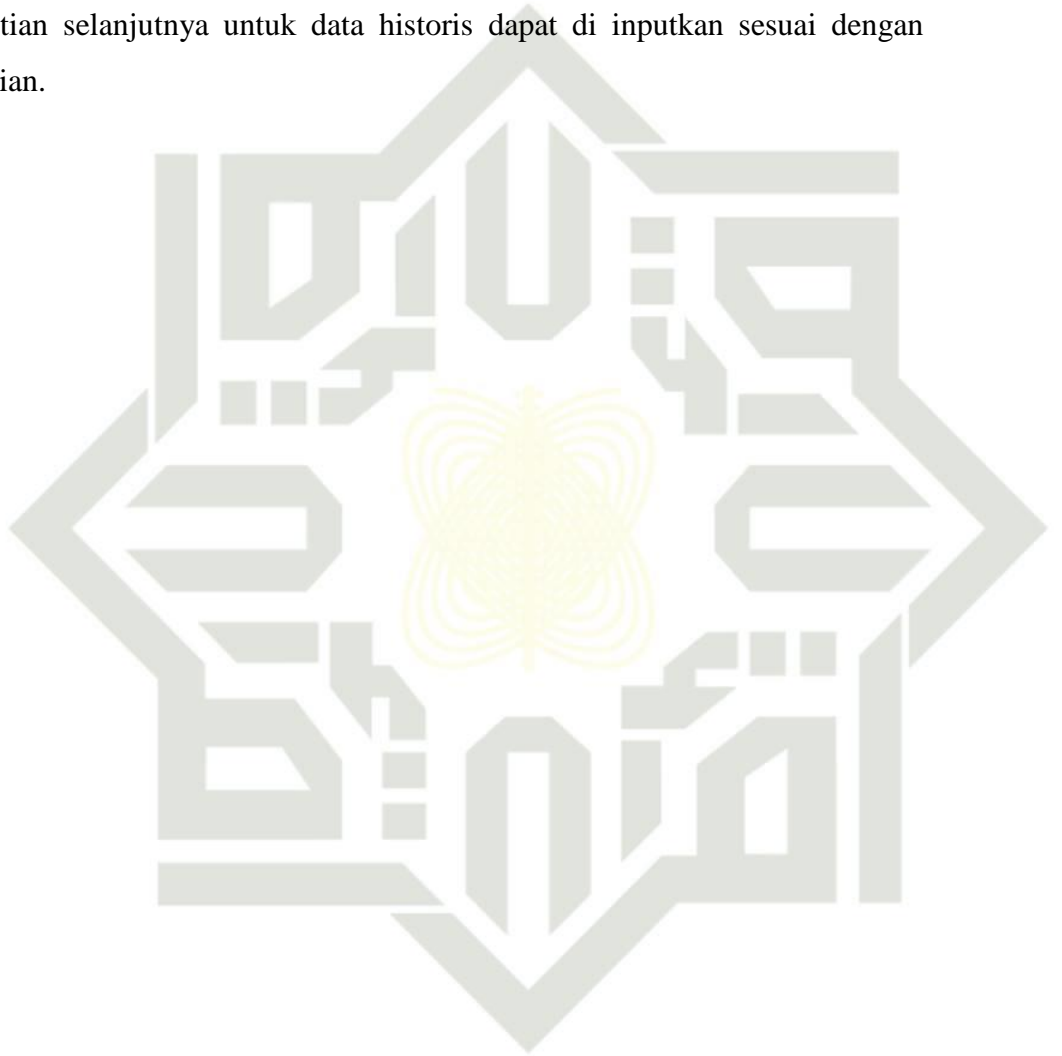
### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Hasan Hasnawiyah, 2012”*Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pulau Saugi*” Jurusan Teknik Perkapalan-Universitas Hasanudin, Jurnal Riset Teknologi Kelautan Volume 10.Nomor 2 Juli Desember 2012.
- [2] PPPTK. Boe,2015 “*Pemanfaatan Panel Surya Melalui Photovoltaic Sebagai Upaya Pengembangan Energi Baru Terbarukan Dalam Rangka Deversifikasi Energi Mix*”di akses<http://www.vedcmalang.com/ppptkboem19/index.php/menuutamalistrik-elektro/1060-11> Oktober 2018.
- [3] Dubey S., Sandnu G.S, Tiwari GN,2009”*Analytical Expression For Electrical Efficiency Of PV/T Hybried Air Collector*” *Applierd Energy* 86: 697-705.
- [4] C.Grubisic, 2016”*Panel Photovoltaic: Review OF The Cooling Tectihtaes*” *Transsaction Of Fanena XI: Sppeial, Ssue 1* (2016).
- [5] A.Muhayamin Marali,2018” *Analisa Perpindahan Panas Dan Pressure Drop Fluida Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Air Proses Pendingin Dengan Metode Simulasi* ” Universitas Brawjaya, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.9,No 2 Tahun 2018.
- [6] Bradley J, Fontenault Dan Ernesto Gutierrez-Miravete, 2012, “*Modeling A Combined Photovoltaic-Thermal Solar Panel* ”, *General Dynamics Electric Boat Corporation, Rensselaer Polytechnic Institsute*
- [7] Irwansyah, 2015 ” *Pengaruh Temperature Dan Fraksi Volume Terhadap Konduktivitas Thermal Fluida Nano Tio<sub>2</sub> / Oli Thermo Xt 32*” Jurusan Teknik Mesin Dan Industri, Universitas Gajha Mada, Semarang,8 Agustus 2015.
- [8] Afriandi1, I. Yusuf dan A. Hiendro, 2007”*Implementasi Water Cooling System Untuk nurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya*”. Universitas Tanjungpura,
- [9] H. Isyanto, Budiyanto, Fadliondi dan P.G. Chamdareno, November 2017, “*Pendingin Untuk Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya*”, Universitas Muhammadiyah Jakarta, P- Issn : 2407.
- [10] T.H. Yakob, 14 Desember 2016, ”*Analisis Dan Permodelan Efek Laju Aliran Fluida Pada Hibrid Solar Pv-Termal Panel*”, Universitas Gadjah Mada.
- [11] A. Warsito, E. Adriono, M.Y. Nugroho, Oding dan B. Winardi, September 2013, ”*Dipo PV Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada*





*Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan*”, Universitas Diponegoro, Transient, Vol.2, No. 3, Issn: 2302-9927, 500.

[12] Richard ,2017 “*Pengaruh Material Monokristal Dan Polikristal Terhadap Karakteristik Sel Surya 20 Wp Dengan Tracking sistem Dua Sumbu*”,Universitas Hkbp Nommensen Medan, 28 Februari 2017

[13] Amien Rahardjo,Herlina,Husni Safruddin,2008”*Optimalisis Pemanfaatan Sel Surya Pada Bangunan Komersial Secara Terintegrasi Sebagai Bangunan Hemat Energi*”Teknik Elektro.Fakultas Teknik Universitas Indonesia Kampus FT-UI Pondok Cina Depok 16424,Universitas Lampung 17-18 November 2008.

[14] Afroza, 4 March 2018, “*Numerical Investigation On The Effect Of Different Parameters In Enhancing Heat Transfer Performance Of Photovoltaic Thermal Systems*”, Journal Homepage, diakses dari [www.Elsevier.Com/Locate/Renene](http://www.Elsevier.Com/Locate/Renene).

[15] Bekti Suroso, Samsul Kamal, Budi Kristiawan,2015”*Pengaru Temperatur Dan Fraksi Volume Terhadap Nilai Perpindahan Kalor Konveksi Fluida Nano Tio2/OLI Termo XT32 Pada Penukar Kalor Konsentrik*”Teknik Mesin.Universitas Gadjah Mada,Mekanika Volume 13 No 2,Maret 2015.

[16] Zondag, H. A., et al,2003”*The yield of different combined PV-thermal collector designs*”. *Solar energy* 74.3 (2003): 253-269

[17] Siti D.W,2010 “*Metode Analitik Dan Nmetode Numerik*,Jurusan Matematika”. Universitas Jakarta.27 oktober 2010

[18] Khotimah Baim Khosnul,”*Teori Simulasi Dan Pemodelan Konsep: Aplikasi Dan Terapan*”, Wade Grub, Purwosari babadan ponorogo.

[19] COMSOL AB,2009 COMSOL *Multiphysics Handbook*.

## LAMPIRAN

### 1 Kosentrasi Fluida Nano 0%

Data Temperatur Listrik Sel Pv			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	314.52093	313.68945	315.94024
0.002	311.02281	310.12212	309.90306
0.003	309.12388	308.36662	307.71932
0.004	307.91304	307.21646	306.50204
0.005	307.08095	306.36265	305.6608
0.006	306.5595	305.72694	305.00792
0.007	305.98425	305.46939	304.50871
0.008	305.60742	304.9164	304.13334
0.009	305.24079	304.60336	303.76254
0.01	304.93269	304.31424	303.67734
Data Daya Listrik sel pv			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	36.14482	36.32285	35.84093
0.002	36.8938	37.08665	37.13355
0.003	37.30038	37.46252	37.60111
0.004	37.55963	37.70878	37.86174
0.005	37.73779	37.89159	38.04186
0.006	37.84944	38.0277	38.18165
0.007	37.97261	38.08285	38.28854
0.008	38.05329	38.20125	38.36891
0.009	38.13179	38.26827	38.4483
0.01	38.19776	38.33018	38.46654
Data Efisiensi Pv			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015,	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	11.85076	11.90913	11.75113
0.002	12.09633	12.15956	12.17494
0.003	12.22963	12.28279	12.32823
0.004	12.31463	12.36353	12.41369
0.005	12.37305	12.42347	12.47274
0.006	12.40965	12.4681	12.51857
0.007	12.45003	12.48618	12.55363
0.008	12.47648	12.52494	12.57995
0.009	12.5023	12.54737	12.60616
0.01	12.52368	12.56707	12.61192
Data Temperatur Reservoir Outlet			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	307.20341	311.0963	322.48848
0.002	303.27951	305.26335	311.21647

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.003	301.81013	303.17434	307.15192
0.004	301.0148	302.10644	305.0537
0.005	300.53704	301.39536	303.77322
0.006	300.21706	300.89325	302.89963
0.007	299.96982	300.601	302.28128
0.008	299.77772	300.31339	301.80547
0.009	299.61243	300.10258	301.41964
0.01	299.49295	299.92741	301.13261
Data Energi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	172.58958	164.53433	154.65869
0.002	195.57256	180.80695	166.06164
0.003	209.32422	191.56293	171.60796
0.004	218.45208	201.12962	175.47811
0.005	227.52627	206.22588	178.66346
0.006	236.43249	209.18374	181.08898
0.007	242.84434	218.04831	183.76532
0.008	248.24017	219.95574	185.82933
0.009	250.91171	223.338	186.9919
0.01	251.01381	225.89056	189.52986
Data Efisiensi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015,	t_ch=0.01,	t_ch=0.005,
0.001	56.58675	53.94568	50.70777
0.002	64.12215	59.28097	54.44644
0.003	68.63089	62.80752	56.2649
0.004	71.62363	65.94414	57.53381
0.005	74.59877	67.61503	58.57818
0.006	77.51886	68.58482	59.37345
0.007	79.6212	71.49128	60.25076
0.008	81.39049	72.12421	60.92763
0.009	82.2544	73.31431	61.30652
0.01	83.9734	74.44971	62.13512
Data Efisiensi Energi Total			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01,	t_ch=0.005,
0.001	68.43751	65.85481	62.45889
0.002	76.21848	71.44053	66.62138
0.003	80.86052	75.09031	68.59314
0.004	83.93826	78.30767	69.94749
0.005	86.97182	80.03851	71.05093
0.006	89.92851	81.05292	71.89202
0.007	92.07124	83.97746	72.80439
0.008	93.86696	84.64916	73.50758
0.009	94.75671	85.86168	73.91268
0.01	96.49708	87.01678	74.74703



## 2. Kosentrasi Fluida Nano 1%

Data Temperatur Energi Sel Pv			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	314.33092	313.54504	315.94333
0.002	310.88604	309.98874	309.84513
0.003	309.01095	308.26381	307.64956
0.004	307.80583	307.12179	306.4349
0.005	306.99461	306.28509	305.60605
0.006	306.51854	305.67627	304.96767
0.007	305.90017	305.36369	304.4723
0.008	305.56868	304.99527	304.06
0.009	305.23267	304.37219	303.73473
0.01	304.82621	304.39056	303.50899
Data Daya Listrik Sel Pv			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	36.1855	36.35377	35.84027
0.002	36.92309	37.11521	37.14595
0.003	37.32456	37.48453	37.61605
0.004	37.58259	37.72905	37.87612
0.005	37.75628	37.9082	38.05359
0.006	37.85821	38.03855	38.19027
0.007	37.99061	38.10548	38.29633
0.008	38.06159	38.18436	38.38461
0.009	38.13353	38.31777	38.45425
0.01	38.22056	38.31383	38.59915
Data Efisiensi Sel Pv			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005,
0.001	11.8641	11.91927	11.75091
0.002	12.10593	12.16892	12.179
0.003	12.23756	12.29001	12.33313
0.004	12.32216	12.37018	12.4184
0.005	12.37911	12.42892	12.47659
0.006	12.41253	12.47166	12.5214
0.007	12.45594	12.4936	12.55617
0.008	12.47921	12.51943	12.58514
0.009	12.50278	12.56312	12.60796
0.01	12.53137	12.56199	12.62646
Data Temperatur Reservoir Outlet			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	307.26726	311.20703	322.71328
0.002	303.30841	305.31144	311.33611
0.003	301.83401	303.20746	307.22936
0.004	301.03081	302.12636	305.1127

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.005	300.53208	301.4147	303.82065
0.006	300.25005	300.91181	302.94358
0.007	299.96508	300.62356	302.31629
0.008	299.79106	300.36975	301.82646
0.009	299.64462	300.0201	301.44963
0.01	299.47203	299.97196	301.14968
Data Energi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	173.80663	165.94163	156.08721
0.002	196.67431	182.02925	167.58205
0.003	210.68999	192.82539	173.08414
0.004	219.67341	202.14207	176.97775
0.005	227.05411	207.45539	180.17053
0.006	240.20573	210.59901	182.76455
0.007	242.21221	220.05525	185.32249
0.008	250.27412	225.68632	186.89644
0.009	256.43435	213.9039	188.70736
0.01	253.02562	231.55324	190.61477
Data Efisiensi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015,	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	56.98578	54.40709	51.17613
0.002	64.48338	59.68172	54.94494
0.003	69.07869	63.22144	56.7489
0.004	72.02407	66.27609	58.02549
0.005	74.44397	68.01816	59.0723
0.006	78.75601	69.04883	59.9228
0.007	79.41391	72.14647	60.76136
0.008	82.05772	73.9882	61.27745
0.009	84.07755	72.4439	61.86964
0.01	83.99464	77.11696	62.49762
Data Efisiensi Energi Total			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	68.84988	66.32636	62.92704
0.002	76.58931	71.85064	67.12394
0.003	81.31625	75.51145	69.08203
0.004	84.34623	78.64627	70.44389
0.005	86.82308	80.44708	71.54889
0.006	91.16854	81.52049	72.4442
0.007	91.86985	84.64008	73.31754
0.008	94.53693	86.50763	73.8626
0.009	96.58033	85.00701	74.4776
0.01	96.59261	89.67895	75.12407

### 3. Kosentrasi Fluida Nano 2%

Data Temperatur Energi Pv			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	314.14579	313.407	315.95258
0.002	310.74938	309.85837	309.79183
0.003	308.90885	308.16524	307.5826
0.004	307.70816	307.03975	306.18975
0.005	306.91621	306.21957	305.58283
0.006	306.37542	305.60988	304.93279
0.007	305.79889	305.19093	304.51145
0.008	305.49769	304.89631	304.0336
0.009	305.06697	304.45945	303.71482
0.01	304.83335	304.33349	303.56278
Data Daya Listrik			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	36.22514	36.38332	35.83829
0.002	36.95235	37.14312	37.15737
0.003	37.34642	37.50564	37.63039
0.004	37.6035	37.74662	37.92861
0.005	37.77307	37.92222	38.05856
0.006	37.88886	38.05277	38.19774
0.007	38.0123	38.14247	38.28795
0.008	38.07679	38.20555	38.39026
0.009	38.16901	38.29908	38.45852
0.01	38.21903	38.32605	38.50107
Data Efisiensi PV			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	11.8771	11.92896	11.75026
0.002	12.11552	12.17807	12.18274
0.003	12.24473	12.29693	12.33783
0.004	12.32902	12.37594	12.43561
0.005	12.38461	12.43352	12.47822
0.006	12.42258	12.47632	12.52384
0.007	12.46305	12.50573	12.55343
0.008	12.48417	12.52633	12.58691
0.009	12.5144	12.55646	12.60942
0.01	12.53048	12.57344	12.62814
Data Temperatur Reservoir Outlet			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	307.33313	311.32021	322.94102
0.002	303.33755	305.36112	311.45795
0.003	301.85198	303.24094	307.30927
0.004	301.04991	302.14943	305.2108

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  - Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.005	300.54632	301.42719	303.85786
0.006	300.22672	300.94708	302.96371
0.007	299.97497	300.60313	302.33274
0.008	299.80091	300.37134	301.83902
0.009	299.62824	300.12857	301.42954
0.01	299.45309	299.99442	301.14242
Data Energi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	175.06249	167.38005	157.5344
0.002	197.78564	183.29209	169.13055
0.003	211.71762	194.10212	174.60753
0.004	221.12919	203.31466	179.47117
0.005	228.41106	208.24894	181.35291
0.006	237.53654	213.28833	183.53203
0.007	243.53203	218.23753	186.05448
0.008	251.77612	225.84817	187.5347
0.009	253.62397	226.31068	187.55825
0.01	259.85294	234.40759	190.15341
Data Efisiensi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015,	t_ch=0.01,)	t_ch=0.005,
0.001	57.39754	54.8787	51.65062
0.002	64.84775	60.09577	55.45264
0.003	69.41561	63.64004	57.24837
0.004	72.50138	66.66055	58.84301
0.005	74.88888	68.27832	59.45991
0.006	77.88083	69.93067	60.1747
0.007	79.86058	71.55514	60.9943
0.008	82.54996	74.047	61.49381
0.009	83.0859	74.31994	61.49613
0.01	85.28143	75.24808	62.3266
Data Efisiensi Energi Total			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005,
0.001	69.27463	66.80766	63.40088
0.002	76.96327	72.27384	67.63538
0.003	81.66034	75.93697	69.5862
0.004	84.83039	79.03649	71.27862
0.005	87.27349	80.71183	71.93813
0.006	90.30341	82.40699	72.69854
0.007	92.32362	84.06086	73.54773
0.008	95.03413	86.57333	74.08073
0.009	95.60029	86.87639	74.10555
0.01	97.8191	87.82153	75.94674

#### 4. Kosentrasi Fluida Nano 3%

Data Temperatur Listrik Pv			
y_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	313.96544	313.27517	315.96786
0.002	310.61317	309.73102	309.74311
0.003	308.81107	308.06597	307.51893
0.004	307.62006	306.95518	306.14527
0.005	306.83037	306.15541	305.52386
0.006	306.17495	305.53873	304.93824
0.007	305.81567	305.19518	303.95982
0.008	305.10501	304.66938	304.02503
0.009	305.09515	304.51728	303.65626
0.01	304.77566	304.24782	303.51451
Data Daya Listrik			
y_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	36.26376	36.41155	35.83502
0.002	36.98151	37.17039	37.1678
0.003	37.36736	37.52689	37.64402
0.004	37.62237	37.76472	37.93813
0.005	37.79145	37.93596	38.07118
0.006	37.93178	38.068	38.19657
0.007	38.0087	38.14156	38.40606
0.008	38.16086	38.25414	38.3921
0.009	38.16297	38.2867	38.47105
0.01	38.23138	38.3444	38.54014
Data Efisiensi Listrik PV			
y_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005)
0.001	11.88976	11.93821	11.74919
0.002	12.12509	12.18701	12.18616
0.003	12.25159	12.3039	12.3423
0.004	12.3352	12.38188	12.43873
0.005	12.39064	12.43802	12.48236
0.006	12.43664	12.48131	12.52347
0.007	12.46187	12.50542	12.59215
0.008	12.51187	12.54235	12.58748
0.009	12.5123	12.55319	12.61368
0.01	12.53465	12.57993	12.62396
Data Temperatur Reservoir Outlet			
y_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	307.40107	311.43587	323.17179
0.002	303.36578	305.41207	311.58201
0.003	301.87656	303.27256	307.39163
0.004	301.06866	302.17403	305.33219

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.005	300.56178	301.44981	303.89597
0.006	300.18671	300.94642	303.02501
0.007	300.00696	300.64106	302.42853
0.008	299.68921	300.30177	301.87038
0.009	299.66351	300.13402	301.49195
0.01	299.43123	299.99853	301.20169
Data Energi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005
0.001	176.35767	168.84998	159.00083
0.002	198.86188	184.58717	170.70723
0.003	213.12354	195.30773	176.17759
0.004	222.55891	204.56524	182.55665
0.005	229.88462	209.6859	182.56353
0.006	232.96125	213.2381	185.86942
0.007	247.80148	221.61185	190.31538
0.008	234.74101	218.77422	189.12905
0.009	259.67575	226.93406	191.12788
0.01	261.41348	234.92913	193.91948
Data Efisiensi <i>Thermal</i>			
v_in	t_ch=0.015,	t_ch=0.01,	t_ch=0.005
0.001	57.82219	55.36065	52.13142
0.002	65.20062	60.52038	55.96958
0.003	69.87657	64.03532	57.76314
0.004	72.97013	67.07057	59.85464
0.005	75.37202	68.74945	59.85689
0.006	76.38097	69.91415	60.9408
0.007	81.24573	72.66012	62.39854
0.008	76.96508	71.72137	62.00997
0.009	85.14325	74.39609	62.68893
0.01	85.77284	74.77005	63.58913
Data Efisiensi Energi Total			
	t_ch=0.015	t_ch=0.01	t_ch=0.005,
0.001	69.71194	67.29886	63.88061
0.002	77.3257	72.7074	68.15575
0.003	82.12817	76.33922	70.10544
0.004	85.30533	79.45245	72.29337
0.005	87.76266	81.18747	72.33925
0.006	88.81761	82.39546	73.46427
0.007	93.70761	85.16555	74.99068
0.008	89.47695	84.26372	74.59745
0.009	97.65556	86.94928	75.30261
0.01	98.30505	87.34997	76.2121



## 5. Kosentrasi Fluida Nano 4%

Data Temperatur Energi Listrik Pv			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	313.78978	313.14943	315.98901
0.002	310.47827	309.60669	309.69893
0.003	308.71862	307.63269	307.45849
0.004	307.5405	306.94026	306.10239
0.005	306.74922	306.0718	305.45777
0.006	306.11723	305.59516	304.82079
0.007	305.75931	304.97891	304.346
0.008	305.30945	304.8095	303.9492
0.009	304.94644	304.36161	303.61458
0.01	304.73272	304.19727	303.32437
Data Daya Listrik			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	36.30137	36.43847	35.83049
0.002	37.01039	37.19701	37.17726
0.003	37.38715	37.61966	37.65696
0.004	37.6394	37.76792	37.94731
0.005	37.80882	37.95386	38.08533
0.006	37.94414	38.05592	38.22172
0.007	38.02077	38.18786	38.32337
0.008	38.11709	38.22414	38.40833
0.009	38.19481	38.32003	38.47998
0.01	38.24057	38.35522	38.56212
Data Efisiensi PV			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	11.90209	11.94704	11.7477
0.002	12.13456	12.19574	12.18927
0.003	12.25808	12.33431	12.34654
0.004	12.34079	12.38292	12.44174
0.005	12.39633	12.44389	12.48699
0.006	12.4407	12.47735	12.53171
0.007	12.46583	12.5206	12.56504
0.008	12.49741	12.53251	12.5929
0.009	12.52288	12.56377	12.6164
0.01	12.53787	12.57546	12.63682
Data Temperatur Reservoir Outlet			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	307.47109	311.55404	323.40568
0.002	303.394	305.46458	311.70834
0.003	301.89482	303.26435	307.47559
0.004	301.09496	302.17745	305.36739

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.005	300.57849	301.44128	303.96254
0.006	300.21505	301.00962	303.05427
0.007	300.02419	300.59074	302.41349
0.008	299.80036	300.40694	301.91504
0.009	299.64717	300.15536	301.53356
0.01	299.42862	300.01116	301.21419
Data Energi <i>Thermal</i>			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	177.69233	170.35177	160.48704
0.002	199.93767	185.92186	172.31279
0.003	214.16811	194.99464	177.77819
0.004	224.56469	204.73908	183.4514
0.005	231.47758	209.14433	184.67867
0.006	236.20225	218.05723	186.98487
0.007	250.10018	217.13549	189.64611
0.008	251.69219	229.46769	191.3993
0.009	256.87227	229.37431	193.50729
0.01	264.71469	236.53473	194.71369
Data Efisiensi <i>Thermal</i>			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015,	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005,
0.001	58.25978	55.85304	52.6187
0.002	65.55333	60.95799	56.496
0.003	70.21905	63.93267	58.28793
0.004	73.62777	67.12757	60.148
0.005	75.89429	68.57193	60.55038
0.006	77.4435	71.49417	61.30652
0.007	82.0001	71.19338	62.17906
0.008	82.51815	75.23423	62.75324
0.009	84.21749	75.21643	63.43604
0.01	86.81849	77.57922	63.84102
Data Efisiensi Total			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	70.16187	67.80008	64.3664
0.002	77.68789	73.15373	68.68526
0.003	82.47713	76.26698	70.63447
0.004	85.96855	79.51049	72.58974
0.005	88.29063	81.01582	73.03738
0.006	89.8842	83.97152	73.83823
0.007	94.46593	83.71398	74.7441
0.008	95.01556	87.76674	75.34614
0.009	96.74037	87.7802	76.05244
0.01	99.35636	90.15468	76.47784

## 6. Kosentrasi Fluida Nano 5%

Data Temperatur Energi Listrik PV			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	313.61872	313.02967	316.01593
0.002	310.34515	309.48535	309.65923
0.003	308.61727	307.56565	307.40131
0.004	307.45235	306.85457	306.05763
0.005	306.64594	305.99711	305.39583
0.006	306.0298	305.40403	304.77558
0.007	305.68792	305.08503	304.38538
0.008	305.27841	304.60819	303.96321
0.009	304.93731	304.22603	303.6913
0.01	304.56332	304.14239	303.31323
Data Daya Listrik			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	36.33799	36.46411	35.82473
0.002	37.0389	37.22299	37.18576
0.003	37.40885	37.63402	37.6692
0.004	37.65827	37.78626	37.9569
0.005	37.83093	37.96986	38.09859
0.006	37.96285	38.09684	38.2314
0.007	38.03606	38.16514	38.31494
0.008	38.12374	38.26724	38.40533
0.009	38.19677	38.34906	38.46355
0.01	38.27691	38.36697	38.59455
Data Efisiensi PV			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	11.9141	11.95545	11.74581
0.002	12.1439	12.20426	12.19205
0.003	12.2652	12.33902	12.35056
0.004	12.34697	12.38894	12.44488
0.005	12.40358	12.44913	12.49134
0.006	12.44684	12.49077	12.53488
0.007	12.47084	12.51317	12.56228
0.008	12.49959	12.54673	12.59191
0.009	12.52361	12.57446	12.61099
0.01	12.55019	12.5875	12.63763
Data Temperatur Reservoir Outlet			
$T_{in}$	$t_{ch}=0.015$	$t_{ch}=0.01$	$t_{ch}=0.005$
0.001	307.54318	311.67476	323.64277
0.002	303.42335	305.51878	311.83704
0.003	301.91802	303.29995	307.56185
0.004	301.1179	302.20956	305.39103

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

0.005	300.58905	301.47261	304.00358
0.006	300.22837	300.99437	303.16883
0.007	300.02952	300.68601	302.44784
0.008	299.83111	300.36917	301.88172
0.009	299.65822	300.13732	301.56286
0.01	299.40529	300.02131	301.2227
Data Energi <i>Thermal</i>			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	179.06675	171.886	161.99361
0.002	201.05685	187.29937	173.94841
0.003	215.49485	196.35184	179.4226
0.004	226.31364	206.37153	184.05239
0.005	232.48405	211.13505	185.9827
0.006	237.72626	216.89435	191.35261
0.007	250.81135	225.61055	191.17401
0.008	256.38288	225.62717	189.70547
0.009	258.76705	227.31118	195.18308
0.01	267.27188	237.824	195.25448
Data Efisiensi Energi <i>Thermal</i>			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015,	t <sub>ch</sub> =0.01,	t <sub>ch</sub> =0.005,
0.001	58.71041	56.35607	53.11266
0.002	65.92028	61.40963	57.03227
0.003	70.65405	64.37765	58.82708
0.004	74.20119	67.6628	60.34505
0.005	76.22427	69.2246	60.97793
0.006	77.9431	71.11291	62.73856
0.007	82.23333	73.96976	62.67999
0.008	84.06039	73.9715	62.19845
0.009	84.80075	74.39891	63.99621
0.01	86.83923	75.34908	64.00736
Data Efisiensi Energi Total			
v <sub>in</sub>	t <sub>ch</sub> =0.015	t <sub>ch</sub> =0.01	t <sub>ch</sub> =0.005
0.001	70.62451	68.31151	64.85847
0.002	78.06418	73.61389	69.22432
0.003	82.91925	76.71667	71.17764
0.004	86.54817	80.05174	72.78993
0.005	88.62787	81.67374	73.46928
0.006	90.38983	83.60367	75.27343
0.007	94.70404	86.48325	75.24226
0.008	96.5606	86.51869	74.72819
0.009	97.31256	87.07222	76.64107
0.01	99.8981	90.54693	76.66757

## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 7. Perhitungan Sifat Material Fluida Nano Pada Konsentrasi Fluida Nano Tertinggi.

### a. Densitas

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi \rho_p$$

$$= (1 - 0.05) \times 997.1 + (0.05 \times 8954) = 1394.9 \text{ kg/m}^3$$

### b. Viskositas

$$\mu_{nf} = (1 - \phi) \sqrt{2.5}$$

$$\frac{10^{-3}}{(1 - 0.05)} \times \sqrt{2.5} = 0.00179 \text{ m/s}$$

### c. Panas Spesifik

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi) \cdot k_f + \phi \cdot \rho_{cp}$$

$$(1 - 0.05) \times 4179 + 0.05 \times 383 = 3989.2 \text{ kg/K}$$

## 8. Perhitungan Aliran Laminar Pada Sistem PV/T

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1000)(0.03)(0.01)}{9.14 \times 10^{-7}} = \frac{0.03}{9.14 \times 10^{-7}} = 32.82$$

$$Re = \frac{(1000)(0.03)(0.05)}{9.14 \times 10^{-7}} = \frac{1.5}{9.14 \times 10^{-7}} = 164.1$$

$$Re = \frac{(1000)(0.03)(0.01)}{9.14 \times 10^{-7}} = \frac{0.03}{9.15 \times 10^{-7}} = 328.2$$

## 9. Perhitungan Efisiensi Tanpa Thermal

$$\eta_{pv} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{pv} - T_{ref})]$$

$$\eta_{pv} = 0.13 \times (1 - 0.0054 \times (56.25 - 25)) \times 100 = 10.81\%$$

### 10. Data Aliran Laminar Fluida Pada *Reservoir* Sistem PV/T

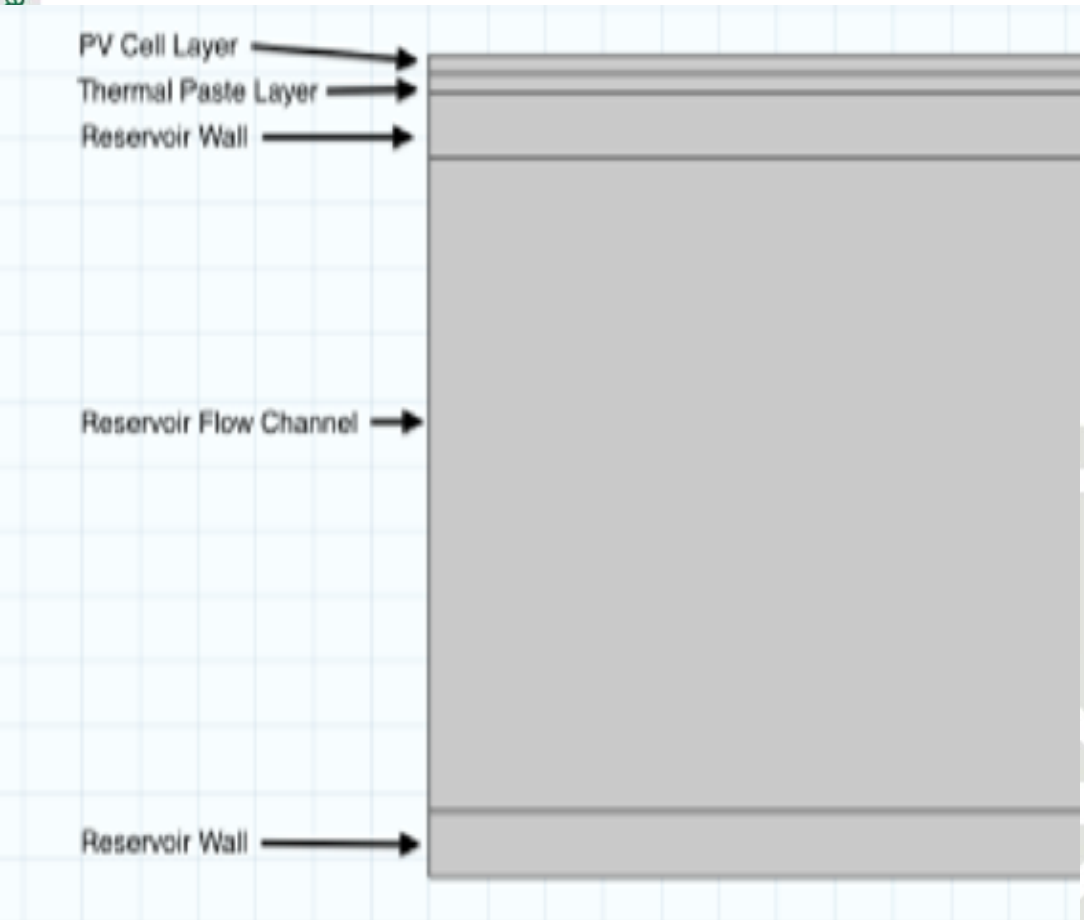
Masa jenis	Temperature inlet $T_{in}$ (K)	Flow channel length (cm)	Thickness (mm)	Diameter $D_h$ (mm)	Viscosity $\mu$ (N.s/m <sup>2</sup> )	Aliran fluida $V$ (m/s)	Re	Laminar ( $Re < 2300$ )
1000	298.15	30.5	0.015	0.03	$9.14 \times 10^{-7}$	0.001	32.82	Laminar
			0.01	0.02			21.88	Laminar
			0.005	0.01			10.94	Laminar
1000	298.15	30.5	0.015	0.03	$9.14 \times 10^{-7}$	0.005	164.1	Laminar
			0.01	0.02			10.94	Laminar
			0.005	0.01			54.70	Laminar
1000	298.15	30.5	0.015	0.03	$9.14 \times 10^{-7}$	0.01	328.2	Laminar
			0.01	0.02			218.8	Laminar
			0.005	0.01			109.4	Laminar

### 11. Data Energi Listrik dan *Thermal* Pemodelan Sistem PV/T Menggunakan Fluida Nano

Konsentrasi Fluida Nano	KONSENTRASI FLUIDA NANO						
	$T_{sel}$ (K)	$E_{pv}$ (W)	$\eta_{sel}$ (%)	$T_{out}$ (K)	$E_{th}$ (W)	$\eta_{th}$ (%)	$\eta_{tot}$ (%)
0%	303.677	38.466	12.611	301.132	189.529	83.973	96.497
1%	303.468	38.511	12.626	301.149	190.614	83.994	96.592
2%	303.562	38.491	12.628	301.142	190.153	85.281	97.811
3%	303.514	38.501	12.631	301.201	193.919	85.772	98.305
4%	303.324	38.542	12.636	301.214	194.713	86.818	99.356
5%	303.313	38.544	12.637	301.222	195.254	86.839	99.898



## 12. Desain Pemodelan Sistem PV/T



### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**Muhammad Tommy Afri Putra**, lahir di Bangkinang pada 16 Agustus 1996 anak pertama dari tiga bersaudara dari Bapak Agus Pidar dan Ibu Yulielvia yang beralamat di Jalan Cipta karya Kec. Tampan, Kab. Sialang Munggu Riau. Penulis dapat dihubungi melalui :

Email : [muhammadtommy15@gmail.com](mailto:muhammadtommy15@gmail.com)

Hp : +6282389418604

Pengalaman pendidikan yang pernah ditempuh penulis dimulai dari SD Negeri 012 Naumbai pada tahun 2003-2009 dan dilanjutkan di SMP Negeri Terpadu 04 Desa Limau Manis pada tahun 2009 - 2012, kemudian melanjutkan di SMK Negeri 05 Pekanbaru pada tahun 2012-2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan kuliah di perguruan tinggi UIN SUSKA RIAU Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi dengan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Pemodelan Sistem *Photovoltaic / Thermal* (PV/T) Menggunakan Fluida Nano Untuk Meningkatkan Efisiensi Dan Daya Listrik Sel PV.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.